PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 20. 15. Oktober 1920. 21. Jahrgang.

Redaktionsschluß für No. 22 am 20. Oktober 1920.

INHALT:

Originalmitteilungen:

O. E. Frivold, Dichtebestimmungen an Lösungen, nebst Bestimmung der Dichteunterschiede zwischen Wasser und Wasser mit Luft gesättigt. S. 529.

K. Herrmann, Zerstreuung von Röntgenstrahlen. S. 534.

G. Jaffé, Bemerkung über die Entstehung von Wirbeln in Flüssigkeiten. S. 541.

E. Kohlweiler, Atombau und chemische Eigenschaften. S. 543.

K. Wessely, Bemerkung zu den Grundlagen der Relativitätstheorie. S. 549.

W. Gerlach, Eine Schaltung zur Eichung von Thermoelementen als Wechselstrommesser. S. 550.

P. Boedke, Zu Plancks Theorie der verdünnten Lösungen. S. 551.

K. Fehrle, Über eine neue periodische Beziehung zwischen den Atomgewichten der chemischen Elemente. III. Resonanztheorie der chemischen Verbindungen. S. 552.

K. Fehrle, Über eine neue periodische Beziehung zwischen den Atomgewichten der chemischen Elemente. IV. Der Zusammenhang zwischen den Resten und der magnetischen Atomsuszeptibilität. S. 554.

Besprechungen:

M. Schlick, Raum und Zeit in der gegenwärtigen Physik, zur Einführung in das Verständnis der Relativitäts- und Gravitationstheorie. S. 555.

C. Dorno, Himmelshelligkeit, Himmelspolarisation und Sonnenintensität in Davos 1911—1918. S. 556.

Wo. Ostwald, Die Welt der vernachlässigten Dimensionen. S. 557.

Vorlesungsverzeichnis für das Wintersemester 1920/21. S. 557.

Personalien. S. 560.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Dichtebestimmungen an Lösungen, nebst Bestimmung der Dichteunterschiede zwischen Wasser und Wasser mit Luft gesättigt.

Von O. E. Frivold.

Eine große Präzision bei Bestimmung der Dichte von Lösungen hat die Auftriebsmethode geleistet. So hat F. Kohlrausch[1]) mit dieser Methode eine Fehlergrenze von etwa 10^{-7} erreicht, indem er einen Aufhängungsdraht benutzte, der gut benetzbar war (platinierter und nachher ausgeglühter Draht) und in einem günstigen Temperaturintervall arbeitete. Man ist nämlich auf das Temperaturintervall beschränkt, in welchem der Auftrieb des Senkkörpers durch die Temperatur wenig beeinflußt wird. Für Glas als Senkkörper befindet sich dieses Temperaturintervall zwischen 5° und 8° C.

Vor kurzem haben A. Piccard und E. Cherbuliez[2]) die gleiche Genauigkeit bei Bestimmung der Dichteunterschiede an verdünnten Lösungen nach einer ganz anderen Methode erreicht. Eine Dichtebestimmung nach dieser Methode ist leicht und schnell ausführbar, und fordert eine verhältnismäßig einfache Apparatur. Um die erzielte Genauigkeit zu erreichen, wurde jedoch der ursprüngliche Apparat ziemlich lang gemacht, etwa 8 m. Er war deshalb nicht bequem aufstellbar und forderte eine ziemlich große Flüssigkeitsmenge für eine Dichtebestimmung. Es wurde deshalb ein Apparat gebaut, der die gleiche Genauigkeit aufwies und eine solche Länge hatte, daß er in einem Laboratorium ohne Schwierigkeit aufstellbar war. Die experimentellen Erfahrungen, die mit diesem Apparat gemacht wurden, sind unten ausführlich angegeben. Der Apparat wurde verwendet, um den Dichteunterschied zwischen luftfreiem Wasser und Wasser bei Zimmertemperatur mit Luft gesättigt, zu bestimmen.

§ 1. Die Methode beruht auf dem Prinzip der kommunizierenden Röhren. Sind die beiden Schenkel zwei kommunizierender Röhren mit verschiedenen Flüssigkeiten von der Dichte d_1 und d_2 gefüllt, so ist das Verhältnis zwischen d_1 und d_2 umgekehrt proportional der entsprechenden Steighöhe. Mißt man die zwei Höhen, so kann man das Verhältnis zwischen den beiden Dichten bestimmen. Statt zwei Höhen direkt zu messen, verfahren Piccard und Cherbuliez folgendermaßen (s. Fig. 1):

Die zwei vertikal gestellten Glasröhren A und B stehen mittels zweier horizontalen Röhren in Verbindung miteinander. Mit Hilfe der zwei Hähne p_1 und p_2 kann man die Verbindungsröhren öffnen und schließen. Die zwei Schenkel stehen oben mittels zweier horizontalen Röhren mit den Gefäßen a_1 und a_2 in Verbindung. Wir nehmen an, daß die rechte Hälfte von a_2 bis p_2 von einer Flüssigkeit von der Dichte d_2, die linke Hälfte von a_1 bis p_2 von einer Flüssigkeit von der Dichte d_1 gefüllt ist.

1) F. Kohlrausch, Dichtebestimmungen an äußerst verdünnten Lösungen. Ann. d. Phys. u. Chemie **56**, 185, 1895.

2) A. Piccard et E. Cherbuliez, Le nombre de magnétons des sels cupriques en solution aqueuse. Archives des Sciences Physiques et Naturales **42**, 324, 1916; E. Cherbuliez, Über den Magnetisierungskoeffizienten von Cuprisalzen in sehr verdünnter Lösung. Diss. Zürich 1917.

Fig. 1.

Wir setzen voraus, daß Gleichgewicht besteht, wenn p_1 offen und p_2 geschlossen ist. Schließt man dann den Hahn p_1 und öffnet den Hahn p_2, so stellt sich eine neue Gleichgewichtslage ein. Um eine Bewegung der Flüssigkeit zu verhindern, hebt oder senkt man z. B. das Gefäß a_2. Als Indikator für die Strömungslosigkeit der Flüssigkeiten wird das Piccardsche Mikromanometer J benutzt, dessen Wirkungsweise später angegeben werden soll.

Bezeichnet l den Höhenunterschied zwischen den zwei horizontalen Traversen und h die Verschiebung des Gefäßes, so hat man:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{l+h}{l}, \quad \frac{d_1 - d_2}{d_2} = \frac{h}{l}. \qquad (1)$$

Der relative Dichteunterschied der zwei Flüssigkeiten ist also bestimmt, wenn man l und h gemessen hat.

Wir stellen uns die Aufgabe, relative Dichteunterschiede mit einer Genauigkeit von $\pm 10^{-7}$ zu messen, wenn l eine Länge von 2 m hat. Aus (1) ergibt sich dann $h = 2 \cdot 10^{-4}$ mm. So kleine Verschiebungen sind jedoch nicht leicht mit einer Mikrometerschraube zu messen. Entspricht eine ganze Umdrehung der Trommel einer Verschiebung der Schraube um 1 mm und ist die Trommel von ca. 30 mm Durchmesser in 100 Intervallen geteilt, so kann man höchstens Höhenunterschiede mit der Genauigkeit von 10^{-3} mm messen. Um größere Genauigkeit zu erreichen, kann man verschiedene Wege einschlagen.

Statt das Gefäß zu verschieben, kann man auf die Oberfläche einen Druck ausüben, z. B. mittels des magnetischen Feldes eines Solenoids. Ein einfacher Überschlag zeigt jedoch, daß man auf eine Lösung, mit einer Suszeptibilität von der Größenordnung von der des Wassers, kaum stärkere Druckwirkungen als 10^{-2} mm Wassersäule ausüben kann[1]). Da andererseits die Druckmessung auf eine Strommessung reduziert ist, kann man mittels dieser Methode beliebig kleine Druckkräfte messen. Es wurden einige Vorversuche gemacht mit zwei Spulen, welche aufeinander gestellt wurden, und welche das Gefäß a_1 in ihrer Mitte einschlossen (s. auch Fig. 2). Mittels Wasserkühlung wurde es möglich bis 100 Amp. Erregerstrom anzuwenden. Diese Kompensationsmethode hat übrigens den Nachteil, daß sie nicht absolute Druckmessungen mit großer Genauigkeit gestattet. Um solche Messungen ausführen zu können, muß man den Apparat mit Lösungen bekannter Dichte eichen. Die Schwierigkeit, den Druck direkt aus der beobachteten Stromstärke mit großer Genauigkeit zu berechnen, rührt davon her, daß das magnetische Feld in den Spulen nicht leicht genau berechenbar ist. Bei den endgültigen Messungen wurde deshalb nicht diese Kompensationsmethode benützt, sondern die Mikrometerschraube mit einem Zeiger verbunden. Darf man von dem Exzentrizitätsfehler und dem Schraubenfehler absehen, so kann man die Genauigkeit in dieser Weise genügend hoch steigern. Die Größe l kann man leicht mit einer Genauigkeit von 1 mm messen.

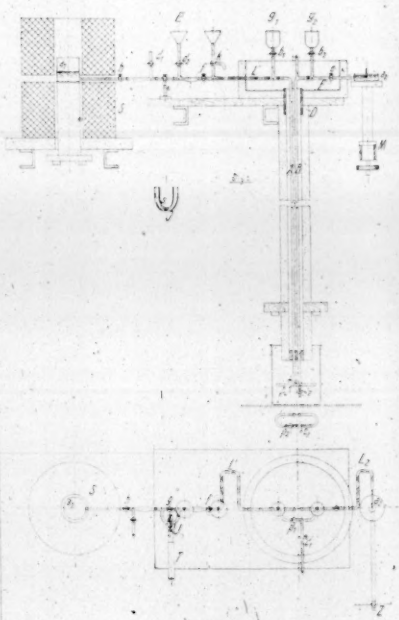


Fig. 2. (Maßstab 1 : 14.)

1) Mittels Nickellösungen würde man allerdings eine 10 mal so große Wirkung bekommen.

Ist der Abstand zwischen den Traversen 2 m, so ist diese Größe mit einer Genauigkeit von 0,5 Promille leicht meßbar.

§ 2. Die ganze Apparatur ist in Fig. 2 abgebildet. Die entsprechenden Teile in der schematischen Fig. 1 und in der mehr vollständigen Fig. 2 sind mit denselben Buchstaben versehen.

Wir fingen an mit der Beschreibung und Wirkungsweise des Piccardschen Mikromanometers, welches als Indikator für die Strömungslosigkeit der Flüssigkeit dient und ein wesentlicher Bestandteil des ganzen Apparates ist. Das Mikromanometer besteht aus einem umgebogenen Glasrohr S, das vorn bis zum Lumen plan abgeschliffen ist. Hier wird ein Dickgläschen mit Schellack befestigt. (Das Mikromanometer wurde bei J [Fig. 2] mit Hilfe eines Schlauches in das Röhrensystem eingeführt.) Befindet sich in dem Röhrchen eine Flüssigkeit mit suspendierten Teilchen, so sind diese mittels eines Mikroskopes T und einer passenden Beleuchtungseinrichtung erkennbar. Das Licht von einer elektrischen Lampe mußte erst eine Wasserschicht passieren (um Wärmestrahlen zurückzuhalten), wurde dann mittels einer Linse etwas kondensiert, und schließlich von dem Spiegel E auf die verengte Stelle des Mikromanometers s reflektiert. Die bei der Umbiegung des Glasrohres entstandene Verstärkung wirkt wie eine Linse und konzentriert das Licht auf die suspendierten Teilchen in der Flüssigkeit. Als trübe Flüssigkeit haben sich Stärketeilchen (in einer Schale mit ein wenig Jod eingerieben), in Wasser aufgelöst, gut bewährt. Die trübe Flüssigkeit wurde in den Trichter E eingefüllt und durch Öffnen der Hähne d_2 und d_1 in Zirkulation gebracht. Nachdem die Hähne geschlossen sind, halten sich die Stärketeilchen lange Zeit schwebend. Um die Empfindlichkeit des Mikromanometers möglichst weit zu erhöhen, muß der hydraulische Widerstand des Mikromanometers größer sein als derjenige des übrigen Systems. Man muß daher dafür sorgen, daß das System in andern Teilen möglichst kleinen hydraulischen Widerstand hat, und daß die Öffnung bei s eng und so kurz wie möglich ist.

Das Gefäß a_1 bis zum Hahn h war immer mit destilliertem Wasser gefüllt.

Das Füllen der Röhren A und B mit den betreffenden Flüssigkeiten geschah durch die Trichter g_1 und g_2. Die eine Flüssigkeit wurde bis p_1 und p_2 auf der einen Seite, bis f und k auf der andern Seite eingefüllt. Die rechte Hälfte bis p_1 und p_2 wurde mit der andern Flüssigkeit gefüllt. Damit die trübe Flüssigkeit sich nicht während eines Versuchs mit der Flüssigkeit in dem vertikalen Rohre A vermischte, war ein Labyrinth LL' zwischen A und f eingeschaltet. Auch weil die Verdampfung der Flüssigkeit in a_2 die Konzentration in B beeinflussen konnte, wurde ein Labyrinth L_2 zwischen a_2 und B eingesetzt. Die zwei Flüssigkeiten in A und B haben ihre Grenzflächen bei p_1 und p_2. Um zu verhindern, daß die zwei Flüssigkeiten schnell ineinander diffundieren, bestanden die Strecken rechts und links von p_1 und p_2 aus Kapillaren mit einer lichten Weite von ca. 2 mm auf einer Strecke von etwa 4 cm (zwischen dem Einfüllen der zwei Flüssigkeiten und den endgültigen Messungen sind die Hähne geschlossen). Die übrigen Röhren des Systems mit Ausnahme von den Labyrinthen haben eine lichte Weite von etwa 4 mm.

§ 3. Die Brauchbarkeit des Apparates hängt davon ab, ob es möglich ist, ihn genügend thermisch zu schützen. Es war nicht möglich, das System so vollständig zu isolieren, daß sich nicht einige Zeit nach Einstellung des Gleichgewichts mittels der Mikrometerschraube oder des Magnetfeldes eine Strömung in der Flüssigkeit gezeigt hätte. Ist es aber möglich, mittels thermischer Isolierung die Störungen bis zu einem gewissen Grade zu unterdrücken, so kann man systematische Fehler beseitigen, indem man gekreuzte Messungen ausführt.

Folgende Isolation erwies sich als genügend: Die zwei vertikalen Röhren A und B waren von einem weiteren Glasrohr umschlossen. Ein Messingrohr D wurde mit Siegellack an dem oberen Ende des Glasrohres befestigt. Das Zinkgefäß F wurde dann an dieses Messingrohr angelötet. Sowohl das lange Glasrohr wie das Zinkgefäß wurden mit Filz geschützt, das Glasrohr außerdem mit Baumwolle umwickelt. Auch die übrigen Teile wurden gut mit Baumwolle isoliert. Das lange Glasrohr und das Zinkgefäß wurden mit Wasser gefüllt und das Wasser mit einem Rührer in Zirkulation gesetzt. Die Vorversuche zeigten aber, daß die Zirkulation des Wassers nicht wesentlich die Störungen beseitigte. (Es ist auch leicht einzusehen, daß es nicht so sehr darauf ankommt, daß die Temperatur des ganzen Systems konstant ist, wie darauf, daß die Temperatur in gleichen Höhen gleich ist.) Der Rührer wurde deshalb bei den weiteren Messungen nicht benutzt. Auch war es nicht nötig, das Zinkgefäß mit Wasser zu füllen. Das Zinkgefäß wurde nur mit einem Deckel aus Pappe bedeckt und im übrigen mit Baumwolle geschützt. Es zeigte sich auch als hinreichend, den unteren Teil des Apparates mittels eines Behälters vor dem Luftzuge zu schützen.

Es soll noch auf einen Umstand hinge-

wiesen werden, welcher beim Ausprobieren der Anordnung viele Schwierigkeiten bereitete. Ist das Gleichgewicht mit der Mikrometerschraube hergestellt worden, während der Hahn p_1 oder p_2 geöffnet war, so darf dieses Gleichgewicht keinesfalls gestört werden, wenn man den betreffenden Hahn schließt und dann wieder öffnet. Sonst bekommt man einen Nebeneffekt, dessen Einwirkung auf die Messung nicht übersehbar ist. Der untere Hahn zeigte auch keine solche Wirkung, der obere Hahn dagegen eine ausgeprägte Pumpwirkung. Diese Wirkung rührt höchstwahrscheinlich davon her, daß die Bohrung des Hahns nicht gut zentriert war. Um systematisch den Fehler in dem neu angefertigten Apparat zu beseitigen, wurden von etwa 20 Hähnen die augenscheinlich 6 besten ausgelesen und in einem provisorisch aufgestellten Apparat untersucht. Der provisorische Apparat geht aus Fig. 1 hervor, wenn die zwei langen vertikalen Röhren beseitigt werden. Der Hahn, den man prüfen will, ist natürlich ausschaltbar. Mit diesem Apparat war es leicht, einen Hahn zu finden, der ohne merkbare Pumpwirkung, funktionierte. Es sei noch bemerkt, daß der Hahn p_2 mit Hilfe einer Messingstange, die unten in einer Gabel endigte, in der Nähe des Mikroskops gehandhabt wurde. Auch der Hahn p_1 wurde mit Hilfe einer Gabel ähnlich wie der untere gedreht. Eine gute Messung hing auch davon ab, daß speziell die zwei Hähne p_1 und p_2 gut geschmiert waren und mit Gummibändern gut festgehalten wurden.

Ist das System erst mit einer Flüssigkeit gefüllt worden, und will man nachher zwei verschiedene Flüssigkeiten auf der rechten und linken Seite einfüllen, so spült man mit der betreffenden Flüssigkeit drei- bis viermal nach, indem man zwischen jeder Füllung ca. eine Viertelstunde wartet. Dieses Warten ist nötig, da das Anhaften der Flüssigkeit an den Wänden bei einer lichten Weite der Röhre von etwa 4 mm sich stark bemerkbar macht. Füllt man dreimal nach, bevor man die endliche Füllung macht, so braucht man ca. 200 ccm von jeder Flüssigkeit für eine Messung. Nach der letzten Füllung muß man mindestens eine Stunde warten bis man die Messung ausführen kann[1]).

§ 4. Wenn eine Messung ausgeführt werden soll, füllt man die trübe Flüssigkeit ein und öffnet die Hähne h, f und e. Man öffnet nachher vorsichtig den Hahn p_1 und stellt gleichzeitig mit der Mikrometerschraube M ein, bis die Stärketeilchen sich im Mikroskop nicht bewegen. Schließt man nachher den Hahn g, so wird die Empfindlichkeit des Mikromanometers erheblich größer, und man spürt daher im allgemeinen noch eine Bewegung der Stärketeilchen. Eine Feineinstellung der Mikrometerschraube beseitigt auch diese Bewegung.

Die Mikrometerschraube wird jetzt abgelesen. Diese Ablesung sei mit I bezeichnet. Der Hahn p_1 wird jetzt geschlossen und p_2 vorsichtig geöffnet. Gleichzeitig mit dem Öffnen des Hahnes p_2 wird mit Hilfe der Mikrometerschraube aufs neue kompensiert. Diese Ablesung ist in den Tabellen mit II bezeichnet. p_2 wird dann wieder geschlossen und p_1 geöffnet usw. Im Mittel kann man in dieser Weise eine Einstellung und Ablesung etwa im Laufe einer Minute ausführen.

§ 5. Die Eichung des Zeigers Z wurde in folgender Weise ausgeführt: Die Stellung des Zeigers wurde einmal abgelesen, wenn der Index der Mikrometerschraube auf einen Teilstrich der Trommel eingestellt war, und dann nachdem der Index auf einem benachbarten Teilstrich stand. Man liest eigentlich so den Tangens des Winkels ab. Bei genaueren Messungen kann der Tangens leicht auf den Bogen reduziert werden.

Einige Einstellungen ergaben folgendes Resultat:

Tabelle I.

Teilstrich, Trommel	84	86
Ablesung, Skala (cm)	3,38	6,62
	3,40	6,65
	3,40	6,66
	3,38	6,64
Mittel:	3,39	6,64

Im Mittel: 3,25 cm auf der Skala entsprachen $2 \cdot 10^{-3}$ cm auf der Trommel.

Daraus folgt: 1 cm auf der Skala entspricht $6{,}15 \cdot 10^{-4}$ cm Verschiebung der Schraube. Da man 0,2 mm gut abschätzen kann, ergibt ein einfacher Überschlag, daß die Ablesungseinrichtung eine Genauigkeit von etwa $5 \cdot 10^{-8}$ bei Bestimmung des relativen Dichteunterschiedes gestattet.

Um zu untersuchen, mit welcher Genauigkeit eine Messung reproduzierbar ist, wurden einige Versuche ausgeführt, bei welchen sich auf beiden Seiten destilliertes Wasser befand. Nach einer Messung wurde ein paarmal neu eingefüllt, dann eine neue Messung ausgeführt usw.

Tabelle II gibt die vollständige Beobachtungsreihe einer Messung wieder. Wie früher angegeben ist, beziehen sich die Ablesungen I auf den Fall, daß der obere Hahn (p_1) offen, der untere Hahn geschlossen ist, die Ablesungen II auf den umgekehrten Fall.

1) Damit die Flüssigkeiten in a_1 und a_2 die Wände gut benetzen, wurden die beiden Gefäße mit heißer Chromsäure gereinigt. Andernfalls konnten sich leicht kapillare Störungen ergeben.

Tabelle II.

										Mittel
I	5,43	5,60	5,86	5,97	6,20	6,34	6,53	6,71	6,85	7,13	6,262 cm
II	5,73	5,91	6,02	6,20	6,43	6,56	6,53	6,72	7,03		6,348 cm

$\Delta = 0{,}086 \,.\, 6{,}15 \cdot 10^{-4}$ cm
$= 5{,}29 \cdot 10^{-2}$ cm

Da $l = 198{,}3$ cm ist, wird

$$\frac{d_1 - d_2}{d_2} = + 2{,}67 \cdot 10^{-7}.$$

Zwischen je zwei der folgenden Messungen wurde mindestens zweimal auf beiden Seiten mit destilliertem Wasser gespült. Eine Meßreihe hat folgende Resultate ergeben:

Tabelle III.

$\frac{d_1 - d_2}{d_2} = + 2{,}67 \cdot 10^{-7}$	
$+ 5{,}05$	
$+ 2{,}48$	Mittel: $+ 4{,}46 \cdot 10^{-7}$
$+ 8{,}37$	
$+ 3{,}72$	

Hieraus geht erstens hervor, daß d_2 immer kleiner als d_1 ist. Es liegt nahe, diesen systematischen Fehler folgendermaßen zu erklären: Bei früheren Versuchen, für welche der Apparat benutzt wurde, kam unvorausgesehen ein Niederschlag von einem Kalziumsalz vor. Trotzdem die Apparatur mehrmals mit Salpetersäure und zuletzt auch mit Chromsäure gereinigt wurde, war es nicht möglich, sowohl positive wie negative Werte für die Größe $d_1 - d_2$ zu bekommen, was zu erwarten wäre, falls keine systematischen Fehler mitspielten. Es ist daher anzunehmen, daß das Mittel $+ 4{,}46 \cdot 10^{-7}$ wirklich einen Dichteunterschied repräsentiert, der von minimalen Spuren eines Salzes herrührt, das sich allmählich auflöst. Die angegebenen Zahlen geben dann an, daß dieses Mittel mit einem mittleren Fehler von $+ 1{,}08 \cdot 10^{-7}$ behaftet ist. Die zu erzielende Genauigkeit ist also erreicht. Der systematische Fehler kann übrigens durch gekreuzte Messungen eliminiert werden. Man verfährt einfach so, daß man einmal Messungen mit der einen Flüssigkeit in A und der anderen Flüssigkeit in B ausführt, dann wechselt und zuletzt Messungen ausführt, die der ursprünglichen Anordnung entsprechen.

Es soll noch kurz auf drei Korrekturen hingewiesen werden, die bei diesen Messungen nicht in Betracht kommen, die sich aber bei genaueren Messungen bemerkbar machen. Die eine Korrektur beruht darauf, daß die Temperatur in dem Gefäß a_2 im allgemeinen nicht die gleiche ist wie in den Röhren A, B. Die zwei anderen Korrekturen rühren davon her, daß der Luftdruck sich an der Oberfläche beim Heben oder Senken des Gefäßes a_2 ändert und daß die von dem in das Gefäß eintauchenden Rohr verdrängte Flüssigkeitsmenge beim Heben oder Senken sich verändert[1]).

§ 6. Bestimmung der Dichteunterschiede zwischen luftfreiem Wasser und Wasser mit Luft bei Zimmertemperatur gesättigt.

Die einzigen, die diese Größe bestimmt haben, sind soweit mir bekannt nur Marek[2]) und P. Chappuis[3]), und zwar hat Marek den Dichteunterschied bei einer Reihe von Temperaturen bestimmt in dem Intervall 0—20° C, Chappuis hat den Dichteunterschied in einem Gebiet bestimmt, wo diese Größe sehr wenig variiert (zwischen 5 und 8° C). Chappuis hat sowohl die Auftriebsmethode wie die Pyknometermethode benutzt und gibt als Resultat einer Reihe von Messungen folgendes an:

Pyknometermethode $+ 37 \cdot 10^{-7}$.
Auftriebsmethode $+ 24$ —
Mittel: $+ 30 \cdot 10^{-7}$. Zwischen 5 und 7°.

Das Mittel stimmt verhältnismäßig gut mit den Angaben von Marek überein, indem er den Wert $33 \cdot 10^{-7}$ bei 6° angibt. Die zwei Methoden, welche Chappuis benutzte, haben jedoch verhältnismäßig große Unterschiede der zu bestimmenden Größe ergeben, was zeigt, daß diese Untersuchungen große Anforderungen der Präzision erfordern.

Für diese Versuche wurden die zwei Flüssigkeiten folgendermaßen hergestellt: In einen großen Scheidetrichter wurde einmal destilliertes Wasser hineingetan und in einem Wasserbad von etwa 40° C unter vermindertem Druck eine Viertelstunde zum Kochen gebracht. Um zu verhindern, daß sich Luft in dem Wasser auflöste, nachdem der Pfropfen entfernt wurde, wurde augenblicklich nach dem Entfernen des Pfropfens reines Paraffinöl von einem andern Trichter auf die Oberfläche des Wassers gegossen. Das Paraffinöl war vorher mit Säure und Natronlauge gut geschüttelt und nachher 8—10 mal mit destilliertem Wasser ausgewaschen.

Der große Trichter wurde vom Wasserbad entfernt und ungefähr die Hälfte des Inhaltes

1) Näheres über diese Fehlerquellen l. c. Cherbuliez.
2) W. J. Marek, Ausdehnung des Wassers. Wied. Ann. **44**, 171, 1891.
3) P. Chappuis, Traveaux du Bureau des Poids et Mesures **14**, 1910.

in einen neuen Trichter hineingetan. In diesem Trichter wurde im Laufe von etwa 2 Stunden Luft hindurchgesaugt. Der Meßapparat wurde dann direkt aus den zwei Trichtern gefüllt. Um weiter zu verhindern, daß sich Luft in dem luftfreien Wasser auflöste, wurde die Oberfläche von g_1 und g_2 mit Parafinöl übergossen. Nur die Resultate der Messungen sind unten tabellarisch angegeben. Jedes Resultat geht von einer Beobachtungsreihe hervor, wie sie in Tabelle II angegeben ist. Für jede neue Messung wurden neue Lösungen hergestellt.

Tabelle IV.

Nr.	Zeit	$\frac{d_1 - d_2}{d_2} \cdot 10^7$	Temp. des H_2O während Sättigung mit Luft	Anmerkung
1	3./3.	+ 50,6	15,6°	Links luftfreies Wasser
				„ Wasser mit Luft
2	4./3.	+ 6,95	15,7°	gesättigt
3	5./3.	+ 38,8	15,5°	„ luftfreies Wasser
				„ Wasser mit Luft
4	6./3.	− 6,2	15,6°	„ gesättigt

Aus Tabelle IV geht hervor, daß der systematische Fehler sich noch mehr bemerkbar machte als früher (s. Tabelle III). Es läßt sich nach den Angaben in Tabelle IV leicht berechnen, welchen relativen Dichteunterschied man erwarten kann, wenn man auf beiden Seiten mit destilliertem Wasser füllt.

Es ergibt sich:

$$\frac{d_1 - d_2}{d_2} = + 25 \cdot 10^{-7}.$$

Um dies zu kontrollieren, wurden zuletzt zwei Messungen gemacht, indem auf beiden Seiten mit destilliertem Wasser gefüllt wurde. Die Resultate der Messungen waren beide Male genau die gleichen.

$$\frac{d_1 - d_2}{d_2} = + 21{,}6 \cdot 10^{-7}.$$

Die Messungen zeigen also, daß der systematische Fehler sich in noch höherem Grade als früher (Tabelle III) bemerkbar machte, und daß der von Tabelle IV berechnete Wert $+ 25 \cdot 10^{-7}$ verhältnismäßig gut mit den direkten Messungen stimmte.

Um den systematischen Fehler zu eliminieren, berechnet man den relativen Dichteunterschied zwischen luftfreiem Wasser und Wasser mit Luft gesättigt aus den drei ersten und aus den drei letzten Messungen (Tabelle IV).

Man bekommt für diese Größe resp.: $+ 18{,}88 \cdot 10^{-7}$ und $+ 19{,}21 \cdot 10^{-7}$. Mittel: $+ 19{,}04 \cdot 10^{-7}$ bei 15,6° C. Setzt man $d_2 = 0{,}999$, so bekommt man:

$$d_1 - d_2 = 19{,}02 \cdot 10^{-7} \text{ bei } 15{,}6^\circ \text{ C}.$$

Durch Interpolation findet man nach den Messungen von Marek für dieselbe Temperatur den Wert $+ 20 \cdot 10^{-7}$. Die Übereinstimmung zwischen den zwei Meßresultaten ist, wenn man die Schwierigkeit dieser Messungen berücksichtigt, eine recht befriedigende.

Herrn Professor Dr. A. Piccard, der mich mit seinem wertvollen Rat unterstützte, spreche ich meinen besten Dank aus.

Zürich, Physikalisches Institut d. Eidgen. techn. Hochschule. 3. August 1920.

Eingegangen 10. August 1920.

Zerstreuung von Röntgenstrahlen.

Von Karl Herrmann.

In einer bekannten Arbeit[1]) hat Hr. Debye die Zerstreuung der Röntgenstrahlen auf die Interferenz von Röntgen-Lichtwellen zurückgeführt, hervorgerufen durch Elektronen, welche innerhalb des Atoms auf einem Kreisring in äquidistanten Abständen angeordnet sind. Von den Atomen wird angenommen, daß sie in der durchstrahlten Materie völlig regellos angeordnet sind. Wegen der sonstigen Annahmen und Voraussetzungen werde aus Gründen der Raumersparnis auf die Debyesche Originalarbeit verwiesen.

Es gelang Hrn. Debye unter Verwendung der gewöhnlichen elektromagnetischen Lichttheorie zu Ergebnissen zu kommen, welche die von mehreren Forschern[2]) beobachtete Unsymmetrie der zerstreuten Strahlung und auch die von Friedrich[3]) und anderen beschriebenen kreisförmig um das Zentrum der Primärstrahlung sich lagernden Interferenzfiguren, wenigstens qualitativ deuten konnten. Auch zu quantitativen Folgerungen sind diese Interferenzringe dann später von Debye und Scherrer[4]) zur Ermittelung der Dimensionen des Benzolringes ausgenützt worden. Die sich daran anschließenden Untersuchungen derselben Forscher über Kristallstrukturen von pulverisiertem Material sind ausgiebig bekannt.

Bei seinen Überlegungen nimmt Debye

1) P. Debye, Zerstreuung von Röntgenstrahlen. Ann. d. Phys. **46**, 809, 1915.

2) Literatur vgl. Handb. d. Radioakt., **5**, 309 ff. sowie Pohl, Physik der Röntgenstrahlen, S. 58 ff.

3) Friedrich, diese Zeitschr. **14**, 317, 1913.

4) Debye und Scherrer, Nachr. d. K. Gesellsch. d. Wiss. Göttingen 1916.

nur eine völlig regellose Lagerung der Elektronenringe, kurz der Atome an. Man könnte sich nun die Frage vorlegen, welche Abänderungen der Betrachtungen und der zu erwartenden Effekte sich ergeben, wenn man annimmt, daß die Atome nicht völlig regellos angeordnet sind, sondern so gelagert sind, daß ihre Elektronenebenen alle parallel sind. In Kristallen ist eine solche oder ähnliche Anordnung der chemisch gleichen Atome wahrscheinlich. Aber auch bei amorphen Substanzen, bei denen also die Zentren der Elektronenkreise nicht gesetzmäßig geordnet sind, kann man sich eine solche Ordnung anfänglich völlig regellos orientierter Atome durch äußere Kräfte hervorgebracht denken. Wir wollen uns weiterhin nur mit solchen amorphen Substanzen beschäftigen, und denken bei den genannten Kräften einerseits an magnetische Felder, andererseits an mechanische Einwirkungen.

Das Bohrsche Atommodell, welches auch Debye bei seinen Überlegungen benutzt, und bei welchem die Elektronen sich in Rotation um den Kern befinden, ist als Ampèrescher Molekularstrom anzusprechen, wie dies schon früher getan ist, und muß unter der Einwirkung magnetischer Felder eine Richtwirkung erfahren, so daß die Elektronenebene danach strebt, sich senkrecht zu den Kraftlinien einzustellen. Für unsere Betrachtungen wird es gleichgültig sein, ob man annimmt, daß das Atom sich gleichzeitig mit dem Elektronenring dreht oder diesen als beweglich im Atom annimmt. Wir wollen uns aber denken, daß es möglich wäre, alle Elektronenringe durch die Magnetisierung zu parallelisieren. Die Ebenen werden dann, je nachdem man die Feldrichtung parallel dem Röntgenstrahl oder senkrecht dazu orientiert, entweder senkrecht oder parallel zum Röntgenstrahl liegen.

Auch durch äußere Kräfte kann man sich derartig richtende Wirkungen hervorgebracht denken, etwa durch Hämmern, Walzen, Pressen. Möglich, daß auch schon beim Erstarren amorpher Substanzen Schichtungen erfolgen. Man wird keine allzu große Kühnheit begehen, wenn man annimmt, daß unter der Einwirkung mechanischer Kräfte, die von den Nachbaratomen übertragen werden, die Atome sich nicht allseitig gleich verhalten, sondern gewisse parallele Lagen bevorzugen werden, etwa wie Linsen, die aufeinander geschüttet sind. Wirkungen des äußeren Druckes, wie etwa künstliche Doppelbrechung, sind ja zahlreich bekannt. Auch Friedrich hat in seinen Untersuchungen Veränderungen des beobachteten Effektes bei äußerem Druck gefunden, und wir werden sehen, daß eine Deutung in dem angedeuteten Sinne möglich ist.

Unter der Annahme unpolarisierten, parallel der x-Achse laufenden Röntgenlichtes findet Debye für das Verhältnis der von einem Elektronensystem zerstreuten zur einfallenden Intensität (Debye, Gleichung 7)

$$V = \frac{\varepsilon^4}{\mu^2 c^4} \cdot \frac{1 + \cos^2\vartheta}{2} \cdot \frac{1}{R^2} \sum\sum e^{ik\{(\alpha-1)(x_n - x_m) + \beta(y_n - y_m) + \gamma(z_n - z_m)\}}. \quad (1)$$

Hierin bedeutet:

ϑ den Winkel zwischen Beobachtungsrichtung und Einfallsrichtung,

α, β, γ die Richtungskosinus der Beobachtungsrichtung, so daß $\alpha = \cos\vartheta$,

R die Entfernung des Aufpunktes vom Zerstreuer,

$k = \frac{\omega}{c}$, wo ω die Frequenz der Röntgenwelle ist,

$x_n\, y_n\, z_n$ die Koordinaten des n-ten, $x_m\, y_m\, z_m$ die des m-ten Elektrons,

ε, μ, c sind die bekannten Konstanten. Debye errechnet nun weiter die Zerstreuung durch sehr viele Moleküle mit Elektronenringen, indem er für ein Atom den Mittelwert der von diesem zerstreuten Intensität mit Rücksicht auf alle möglichen Orientierungen bildet und dann diesen Mittelwert mit der Zahl N sämtlicher von dem Primärstrahl getroffenen Atome multipliziert. Wir bilden den Mittelwert nicht über alle möglichen Orientierungen des Elektronenringes, sondern zunächst nur für den Fall, daß das Elektronenpolygon in einer zu einer Koordinatenachse senkrechten Ebene jede beliebige Orientierung haben kann, und verfahren dabei analog wie Debye.

Der Exponent der Doppelsumme werde in zwei Vektoren $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$ zerlegt, so daß

$$\mathfrak{A} = (\alpha - 1)\,i + \beta\, j + \gamma\, k \quad (2)$$

$$\mathfrak{B} = (x_n - x_m)\,i + (y_n - y_m)\,j + (z_n - z_m)\,k. \quad (3)$$

Der Vektor $\mathfrak{A}$ steht mit der Beobachtungsrichtung in gewissen Beziehungen. Wir bezeichnen mit ψ den Winkel, den der Vektor $\mathfrak{A}$ mit der Elektronenebene bildet, mit λ, μ, ν die Winkel, die $\mathfrak{A}$ mit den Koordinatenachsen einschließt. Orientieren wir nun speziell das Elektronenpolygon einmal senkrecht zur x-Achse (Fall 1), ein zweites Mal senkrecht zur y-Achse (Fall 2) und ein drittes Mal senkrecht zur z-Achse (Fall 3), so sind innerhalb der Ebenen, in denen zu bleiben der Elektronenring nach unserer Annahme nun gezwungen ist, noch beliebige Orientierungen möglich, die dadurch charakterisiert sind, daß irgendein mit dem

Elektronenpolygon fest verbundener Vektor, der in der betreffenden Ebene liegt, ein beliebiges Azimut mit einer beliebig gewählten o-Achse einschließen kann. Als solche Nullachse wählen wir die Spur des Vektors $\mathfrak{A}$ und rechnen von da ab das Azimut φ des genannten Vektors, den wir natürlich mit dem Vektor $\mathfrak{B}$ identifizieren. Dann bilden die Vektoren $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$, wie bei Debye, den Winkel Θ miteinander, und nach dem Lehrsatz vom rechtwinkligen sphärischen Dreieck, in dem Θ die Hypotenuse ist, folgt:

$$\cos\Theta = \cos\psi \cdot \cos\varphi. \tag{4}$$

Es ist ersichtlich, daß der Winkel ψ in den drei spezialisierten Fällen jeweils das Komplement zu λ, bzw. μ, bzw. ν ist.

Für die Winkel λ, μ, ν ergibt sich aus ihrer Definition:

$$\cos\lambda = \frac{\mathfrak{A}_x}{\mathfrak{A}} = \frac{\alpha - 1}{\sqrt{(\alpha-1)^2+\beta^2+\gamma^2}} = \frac{\alpha-1}{\sqrt{2(1-\alpha)}} = \sqrt{\frac{1-\alpha}{2}} = \sqrt{\frac{1-\cos\vartheta}{2}}, \tag{5}$$

so daß:

$$\lambda = \frac{\pi - \vartheta}{2}$$

folgt. Ferner

$$\cos\mu = \frac{\beta}{\sqrt{2(1-\alpha)}}, \qquad \cos\nu = \frac{\gamma}{\sqrt{2(1-\alpha)}}.$$

Ehe wir jetzt weitere Spezialisierungen bezüglich der Beobachtungsrichtung einführen, bilden wir den Mittelwert über den Exponenten der Gleichung (1), der sich nach dem Vorgang von Debye auch schreiben läßt:

$$J = \frac{\varepsilon^4}{\mu^2 c^4} \cdot \frac{1}{R^2} \cdot \frac{1+\cos^2\vartheta}{2} \sum_n \sum_m e^{i\,k\,(\mathfrak{A}\mathfrak{B})}. \tag{6}$$

Da der Ausdruck in der eckigen Klammer gleich dem skalaren Produkt der oben definierten Vektoren $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$ ist, so folgt:

$$(\mathfrak{A}\mathfrak{B}) = A \cdot B \cdot \cos\Theta = A \cdot B \cdot \cos\psi \cdot \cos\varphi. \tag{7}$$

Der Mittelwert ist nun nicht, wie bei Debye, über alle räumlichen Lagen des Vektors $\mathfrak{B}$ zu errechnen, sondern nur über die Lagen, die durch Drehung des Vektors $\mathfrak{B}$ in der jeweiligen Ebene zwischen den Winkeln $\varphi = 0$ und $\varphi = \pi$ und wieder zurück bestimmt sind. Das kommt auf die Auswertung des bestimmten Integrals heraus:

$$\frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\pi} e^{i\,k\,A\cdot B\cos\psi\cos\varphi}\, d\varphi, \tag{8}$$

dessen Wert gleich der Besselschen Funktion nullter Ordnung ist:

$$J_0(k \cdot A \cdot B \cdot \cos\psi) \tag{9}$$

Auch hierin ist, wie bei Debye:

$$A = 2\sin\frac{\vartheta}{2} \tag{10}$$

$$B = 2a \cdot \sin\left(\frac{n-m}{p}\,\pi\right), \tag{11}$$

worin a der Umkreisradius des Elektronenpolygons und p die Anzahl der Elektronen bedeuten. Mit diesen Bedeutungen folgt für den Mittelwert:

$$J_0\left(4ka\sin\left(\frac{n-m}{p}\,\pi\right)\cdot\sin\frac{\vartheta}{2}\cdot\cos\psi\right). \tag{12}$$

„In einer Richtung, welche mit der Einfallsrichtung der primären Strahlen den Winkel ϑ bildet, beobachtet man also im Abstande R vom Körper den Bruchteil“:

$$V = \frac{N\varepsilon^4}{\mu^2 c^4} \cdot \frac{1}{R^2} \cdot \frac{1+\cos^2\vartheta}{2} \cdot \sum_n \sum_m J_0\left(4ka\sin\left(\frac{n-m}{p}\,\Pi\right)\cdot\sin\frac{\vartheta}{2}\cos\psi\right). \tag{13}$$

Spezialisierungen für die Beobachtungsrichtung, d. h. ϑ und ψ, werden wir alsbald einführen, zunächst aber verfahren wir wie Debye und setzen:

$$4ka\sin\frac{\vartheta}{2}\cos\psi = \varrho \tag{14}$$

und bilden uns Hilfsfunktionen Ψ_p, die durch die Gleichungen definiert sind:

$$\Psi_p(\varrho) = \frac{1}{p}\sum_{n=0}^{n=p-1} J_0\left(\varrho\cdot\sin\frac{n\Pi}{p}\right) \tag{15}$$

z. B.

$$\Psi_2(\varrho) = \frac{1}{2}\,(1 + J_0(\varrho)), \tag{16}$$

$$\Psi_3(\varrho) = \frac{1}{3}\left(1 + 2J_0\left(\frac{\varrho}{2}\sqrt{3}\right)\right), \tag{17}$$

$$\Psi_4(\varrho) = \frac{1}{4}\left|1 + J_0(\varrho) + 2J\left(\frac{\varrho}{2}\sqrt{2}\right)\right| \tag{18}$$

und so fort. Diese Funktionen sind in Fig. 1 abgebildet. In die Figur ist ferner noch aufgenommen die Funktion $\Psi_\infty(\varrho)$, d. h. dieselbe Funktion unter der Annahme von Ringen, die mit sehr vielen Elektronen besetzt sind. Zur Erreichung beschreiten wir einen analogen Weg, wie Debye, setzen, da für $p >> 1$ die Größe $\frac{\pi}{p}$ sehr klein wird,

$$\Psi_{p\to\infty}(\varrho) = \frac{1}{\pi}\sum_{0}^{p-1} J_0\left(\varrho\sin\frac{n\pi}{p}\right)\cdot\frac{\pi}{p}, \tag{19}$$

betrachten beim Grenzübergang zu $p = \infty$ die Größe $\frac{n\pi}{p}$ als stetige Variable u, ferner $\frac{\pi}{p}$ als Differential du und finden:

$$\Psi_\alpha(\varrho) = \frac{1}{\pi}\int_0^\pi J_0(\varrho \sin u)\, du \,. \qquad (20)$$

Der Betrag dieses bestimmten Integrals[1]) ist:

$$\Psi_\alpha(\varrho) = J_0^2\left(\frac{\varrho}{2}\right). \qquad (21)$$

Mit Hilfe dieser Funktionen Ψ_β läßt sich nun V errechnen, indem man den Wert für ϱ einsetzt, der sich bei wachsendem ϑ und bei verschiedenem ka ergibt.

Betrachten wir zunächst den Fall 1, in welchem die Elektronenebene senkrecht zur x-Achse steht. Dann herrscht um die x-Achse, d. h. die Einfallsrichtung der Röntgenstrahlen, vollkommene Symmetrie. Es ist:

$$\sphericalangle \psi = \frac{\pi}{2} - \lambda = \frac{\vartheta}{2}$$

und für diesen Fall folgt:

$$V^x = C \cdot \frac{1+\cos^2\vartheta}{2} \cdot \dot{p}^2 \cdot \Psi_\beta\left(4ka \sin\frac{\vartheta}{2} \cdot \cos\frac{\vartheta}{2}\right), \quad (I)$$

wenn wir für $\frac{N}{R^2} \cdot \frac{\varepsilon^4}{\mu^2 c^4}$ die Größe C einführen[2]).

Die Stellen gleicher Intensität sind also symmetrisch um die x-Achse verteilt, jedoch in anderem Betrage wie bei Debye, was durch den Unterschied der Funktion $\Psi_{(\cdot)}$ und der Debyeschen Funktion Φ_β bedingt ist.

Im Falle 2, d. h. Elektronenebene $\perp$ zur y-Achse, wollen wir die Beschränkung einführen, daß wir entweder a) nur in der xy-Ebene oder nur b) in der xz-Ebene beobachten. Im Falle 2a ist:

$$\lambda + \mu = \frac{\pi}{2}$$

oder

$$\mu = \frac{\pi}{2} - \lambda,$$

und da

$$\psi = \frac{\pi}{2} - \mu$$

ist, so folgt:

$$\psi = \lambda = \frac{\pi - \vartheta}{2}.$$

Es tritt also an Stelle des $\cos\frac{\vartheta}{2}$ der $\sin\frac{\vartheta}{2}$ in die Funktionen Ψ_β ein, so daß:

$$V^y = C\,\frac{1+\cos^2\vartheta}{2} \cdot \dot{p}^2 \cdot \Psi_\beta\left(4ka \cdot \sin^2\frac{\vartheta}{2}\right). \quad (IIa)$$

Im Falle 2b ist μ konstant immer gleich $\frac{\pi}{2}$, der Vektor $\mathfrak{A}$ liegt in der Elektronenebene, und es folgt:

$$\psi = 0 \quad \text{d. h.} \quad \cos\psi = 1.$$

Also wird für diesen Fall:

$$V^y = C\,\frac{1+\cos^2\vartheta}{2} \cdot \dot{p}^2 \cdot \Psi_\beta\left(4ka \sin\frac{\vartheta}{2}\right). \quad (IIb)$$

Die Fälle 3a und 3b brauchen wir nicht zu erörtern, da sie ganz ersichtlich den Fällen 2b bzw. 2a entsprechen.

Es ist also nun die Abhängigkeit von V vom Winkel ϑ zu untersuchen, den wir von 0 bis 180° beiderseitig wachsen lassen wollen. Die Abhängigkeit ist aber außer von dem gemeinsamen Faktor $\frac{1+\cos^2\vartheta}{2}$ noch von den Funktionen Ψ_β bedingt, und damit von den verschiedenen Argumenten dieser Funktionen. Dabei spielt der Faktor $4ka$ eine erhebliche Rolle, und wir wollen, ehe wir die verschiedenen V mit Hilfe der Funktionen Ψ_β konstruieren, uns über diesen Einfluß, sowie über das allgemeine Verhältnis der V bzw. der Ψ_β zueinander Rechenschaft geben.

Um mit dem letzteren anzufangen, so sieht man aus der Fig. 1, daß schon von Ψ_3 an der

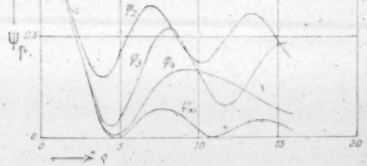


Fig. 1.

Verlauf der Funktionen mit höherem β anfänglich für ein beträchtliches Stück der gleiche ist. Die Funktionen Ψ_4 und Ψ_∞ sind bis zum Werte 4 des Arguments absolut identisch, und offenbar gilt dasselbe für alle Werte von $\beta > 4$. Die Werte des Arguments bewegen sich nun zwischen den Größen 0 und $4ka$, da die Sinusfunktionen zwischen 0 und 1 liegen. Während nun — abgesehen von der Intensitätssymmetrie rechts und links vom Primärstrahl — in allen drei V der Faktor $\frac{1+\cos^2\vartheta}{2}$ eine weitere Symmetrie um die beiderseitige Richtung 90° verursacht, wird diese Symmetrie nur bei V^x durch den hinzukommenden Faktor Ψ_β nicht gestört. Denn hier enthält das Argument den

1) Vgl. Enzyklopädie der Math. Wissensch. Bd. II, Teil 1, S. 756 und C. Neumann, Dess. F. S. 70.

2) Über das Hinzukommen des Faktors $\dot{p}^2$, der für unsere Zwecke belanglos ist, vgl. Debye l. c.

Faktor $\sin\vartheta$, und somit hat die Funktion Ψ_f rechts und links von der Richtung 90^0 dieselben Werte, der Verlauf von V^x ist also symmetrisch sowohl zur Primärstrahlrichtung, wie in der dazu senkrechten Richtung. Anders bei V^y_a und V^y_b, denn bei diesen enthalten die Funktionen Ψ_f die Argumente $\sin^2\frac{\vartheta}{2}$ und $\sin\frac{\vartheta}{2}$, und deren Werte sind nicht symmetrisch zu $\vartheta = 90^0$. Hieraus geht hervor, daß — mindestens bis zum Werte von $4ka = 4$ — die Funktionen V^x, V^y_a und V^y_b verschieden verlaufen müssen, und, ohne diese Überlegung weiter auszuführen, fügen wir hinzu, daß das Gleiche offenbar auch für Werte von $4ka > 4$ gilt, wenngleich dann, wie aus dem Kurvenverlauf der Fig. 1 zu ersehen ist, sich dem Verlauf von V Schwankungen aufprägen werden, entsprechend denjenigen, welche Debye zur Deutung der Friedrichschen Interferenzen und zur Ausmessung des Benzolringes herangezogen hat.

Wie groß nun die Verschiedenheiten für die verschiedenen V, also die drei in Betracht gezogenen Lagen der parallelen Atomebenen sind, das hängt von der Größe von $4ka$ ab, die wir jetzt einer kurzen Betrachtung unterziehen wollen.

Es folgt aus der Definition von k:

$$ka = \frac{\omega}{c} \cdot a = \frac{2\pi a}{\lambda}, \qquad (22)$$

wenn λ die Wellenlänge der primären Röntgenstrahlung ist. Wir entwerfen, um über die Größe von $4ka$ eine Übersicht zu bekommen, eine kleine Tabelle, indem wir zwei Elektronenkreise zugrunde legen; einen mit dem Radius $1 \cdot 10^{-9}$ cm und einen mit dem Radius $1{,}25 \cdot 10^{-9}$ cm[1]), und die K_α-Wellenlängen verschiedener Elemente berücksichtigen.

Element	$\lambda K\alpha$	$4ka$ für $a = 1 \cdot 10^{-9}$	$4ka$ für $a = 1{,}25 \cdot 10^{-9}$
Na	$11{,}95 \cdot 10^{-8}$	0,21	0,26
Cu	$1{,}543 \cdot 10^{-8}$	1,63	2,03
Mo	$0{,}710 \cdot 10^{-8}$	3,54	4,42
Ag	$0{,}562 \cdot 10^{-8}$	4,46	5,53
W	$0{,}21 \cdot 10^{-8}$	11,80	14,76

Offenbar folgt aus der obigen Beziehung, daß $4ka$ stärker von λ als von a abhängig ist.

Wir diskutieren zunächst den Verlauf der Funktionen V für Werte von $4ka < 4$, und zeichnen in den Figuren 2 und 3 den Verlauf für die Werte $4ka = 1$ und $4ka = 4$, und zwar unter Benutzung von Ψ_∞.

1) Vgl. Debye l. c. S. 823.

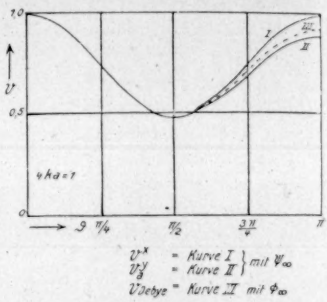


Fig. 2.

Wie Fig. 2 zeigt, schließt sich Kurve V^y_a bis $\vartheta = \frac{\pi}{2}$ eng an die Kurve V^x an. Die Unsymmetrie der ersteren und die Symmetrie der letzteren sind deutlich sichtbar. Die Kurve für V^y_b ist nicht ganz identisch mit Kurve V^y_a, verläuft jedoch so eng in deren Nähe, daß sie nicht mit eingezeichnet ist.

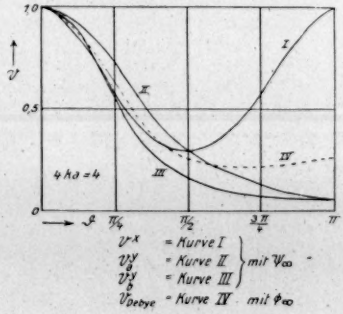


Fig. 3.

Aus Fig. 3 ist ersichtlich, daß für den größeren Wert $4ka = 4$ die Kurven bei weitem mehr auseinander streben, und daß es bei verschiedener Orientierung des Streuers wohl möglich wäre, diese Unterschiede nachzuweisen, besonders für Winkel $> 90^0$, d. h. auf der Einfallsseite der Strahlung.

Der Vergleich beider Figuren zeigt, daß die Größe eines zu erwartenden Effektes von der Wahl des Streuers einerseits, von dem der Elektronenringradius a abhängt, bedingt wird, und andererseits von der Wellenlänge des benutzten Röntgenlichtes, welche für den Faktor k maßgebend ist. Trifft man die Wahl so,

daß das Produkt beider in der Nähe von 0,25 und darunter zu liegen kommt, so kann man kaum erwarten, einen Effekt nachzuweisen.

Als den zu erwartenden Effekt werden wir es bezeichnen, wenn die Zerstreuung eines Körpers, der anfänglich in unmagnetischem Zustande untersucht wurde, bei Erregung eines Magnetfeldes sich ändert. Über die zu erwartende Größe des Effektes gibt uns ein Vergleich unserer Kurven mit den Debyeschen Aufschluß. Dies ist in den Figuren 2 und 3 geschehen, in welchen die gestrichelte Linie den Wert von V nach Debye für völlig regellos verteilte Elektronenringe angibt. Dabei ist die Debyesche Funktion $\Phi_\infty(\varrho)$ benutzt, wegen der Analogie mit $\Psi_\infty(\varrho)$.

Wie man sieht, fällt in Fig. 2 die Debyesche Kurve bis über $\frac{\pi}{2}$ hinaus völlig mit den Kurven für V^x und V_a^x zusammen, und trennt sich nur am Ende bei großen Beobachtungswinkeln spärlich von ihnen. Anders in Fig. 3, wo die Trennung ganz wesentlich ist.

In der Literatur finde ich eine Notiz von Crowther[1]), die sich mit dem Ergebnis der Untersuchung von Streuern in einem magnetischen Felde bis 2500 Gauß beschäftigt. Dieses Ergebnis ist negativ, aber im Schlußsatz läßt Crowther die Möglichkeit offen, daß bei subtilerer Beobachtung sich doch ein Effekt ergebe. Crowther gibt nun nichts an über die Natur des verwendeten Strahlers, auch nichts über die Richtung des Magnetfeldes, und, was im Jahre 1911 erklärlich ist, über die Natur seines Röntgenstrahles. Nehmen wir also an, was nach dem Aufbau Crowthers nicht unwahrscheinlich ist, daß das Magnetfeld senkrecht zu dem Röntgenstrahl gerichtet war, so hätten wir unseren Fall 2 vor uns und, da vermutlich in der Horizontalebene beobachtet wurde, den Fall 2a. In beiden Figuren 2 und 3 schließt sich nun die Debyesche Kurve, die dem nicht erregten Magnetfeld entspricht, am engsten der Kurve V_a^x an, die für das erregte Magnetfeld heranzuziehen ist. Hat Crowther, worüber wir nichts sagen können, Objekt des Streuers und Röntgenröhre so gewählt, daß zufällig $4ka$ ungefähr gleich 1 wird, so kann man keinen nachweisbaren Effekt erwarten. Aber auch wenn die zufällige Wahl die Größe 1 von $4ka$ nicht nach sich zöge, so ist zu bedenken, daß abgesehen von der möglichen, ganz erheblichen Steigerung des Magnetfeldes, die Erfüllung der Voraussetzung der Parallelisierung aller Elektronenringe bei beliebigen Streuern fraglich ist. Es ist sogar die Frage, ob man bei Eisen im Zustande der Sättigung diese Annahme machen kann, worüber wir uns aber nicht weiter auslassen wollen. Ist nun nur ein Bruchteil aller vorhandenen Atome gerichtet, dann muß man den Abstand zwischen den beiden Kurven noch teilen, und der zu erwartende Effekt wird im gleichen Maße schwächer.

Trotzdem kann man der Meinung Crowthers folgen, daß es bei subtilerer Beobachtung möglich ist, einen solchen Effekt zu erhalten. Nach dem heutigen, erheblich reiferen Zustand unserer Kenntnisse gehört aber dazu, daß die Wellenlänge der Röntgenstrahlen genügend klein und möglichst sogar monochromatisch ist, sowie die anderen, aus dem Erörterten hervorgehenden Erfordernisse (betr. Magnetfeld, Beobachtungsrichtung usw.). Alsdann aber wären derartige Beobachtungen, wenn sich ein Effekt ergäbe, an der Hand der hier angedeuteten Überlegungen imstande, Aufschlüsse über den Bau, die Größe und die Elektronenanordnung im Inneren des Atoms zu geben, was Herr Debye in seiner grundlegenden Arbeit schon an den Friedrichschen Interferenzringen andeutet. Vor allem würde dazu die jetzt stark interessierende Frage gehören, ob man weiter mit Elektronenringen oder anderen Anordnungen[1]) zu rechnen hätte. Doch sollen diese Gedanken hier nicht weiter verfolgt werden.

Für große $4ka$, d. h. große Ringradien und kleine Wellenlängen kommen wir in das Gebiet, wo sich über den gleichmäßigen Intensitätsverlauf Erhebungen überlagern. Bei völliger Unordnung der Moleküle müssen sich dann Interferenzringe ergeben, wie sie Friedrich[2]) an Wachs und Paraffin beobachtet hat. Zur Verdeutlichung des Unterschiedes der hier getroffenen Annahmen gegenüber der völliger Unordnung mögen die Figuren 4 und 5 dienen, erstere für einen Ring mit 4 Elektronen ($p = 4$) und $4ka = 20$, letztere — um Anschluß an die Figur 2 von Debye[3]) zu gewinnen — für $p = 2$ und $4ka = 40$. Wir beschränken uns dabei auf die Rückseite der Streustrahlung, d. h. $\vartheta < \frac{\pi}{2}$. Wie man sieht, fallen die Kurven sehr verschieden aus, und das gilt natürlich auch von den zu erwartenden Ringen auf der photographischen Platte. Es ist aber ersichtlich, daß das ursprüngliche Maximum — in Figur 4 bei etwa 55^0, in Figur 5 bei etwa 25^0 — sich bei den verschiedenen parallelen Orientierungen nach

1) Crowther, Proc. of the Cambr. Phil. Soc. **16**, 188, 1911.

1) Vgl. Born, Verh. d. D. phys. Ges. **20**, 230, 1919 sowie die Arbeiten von Landé in der Zeitschr. f. Physik.

2) Friedrich, diese Zeitschr. **14**, 317, 1913.

3) Vgl. Debye, l. c. S. 822.

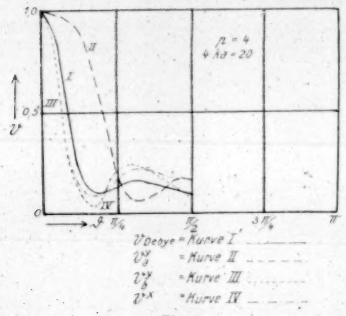


Fig. 4.

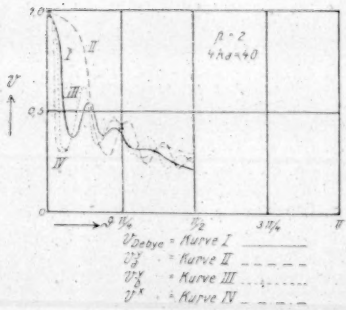


Fig. 5.

rechts und links verschiebt, bei Figur 5 kann man sogar das Wandern der 3 Maxima verfolgen. Der Radius eines solchen Interferenzkreises wird also größer bzw. kleiner werden, wenn man durch irgendein Mittel die Bahnen der Elektronenringe parallel stellen könnte.

Herr Friedrich berichtet nun in seiner Arbeit über die Erscheinung, daß bei einem Wachsstückchen durch Druck eine Veränderung des Interferenzringes hervorgerufen wurde, derart, daß nur zwei Quadranten des Ringes übrigblieben, die beiden anderen, und zwar senkrecht zur Druckrichtung, verschwanden. Es wird gestattet sein, eine Parallelisierung der Moleküle, durch den Druck verursacht, anzunehmen, nur kann man nicht angeben, in welcher Richtung sich dabei die Ebenen der Wasserstoffatome lagern werden, dem — infolge seines großen Radius — Herr Debye in erster Linie die Verursachung der Interferenzringe zuschiebt. Denn über den räumlichen Bau der komplizierten Wachs- und Paraffinatome kann man zurzeit noch nichts sagen.

Nehmen wir deshalb willkürlich an, die Bahnen der die Interferenz verursachenden Elektronen seien durch den Druck senkrecht zur y-Achse gerichtet worden, dann haben wir den Fall 2 vor uns, und es kommen die Kurven V_a^y und V_λ^y in Frage. Man sieht dann aus Figur 5, die natürlich nur als Paradigma gelten kann, da über a und λ keine sicheren Voraussetzungen angegeben werden können, folgendes. Das ursprünglich bei 25° befindliche Maximum rückt für Beobachtung in der xy-Ebene zu weit größeren Winkeln, etwa 50°, für Beobachtung in der xz-Ebene ein wenig zu kleineren Winkeln, etwa 22°. Man kann sich also wohl Fälle — je nach Wahl von a und λ, sowie auch p — denken, bei denen für je zwei Quadranten ein so weites Hinausrücken stattfindet, daß dies einem Verschwinden von der räumlich begrenzten photographischen Platte gleichkommt, während an den anderen Quadranten eine Verkleinerung des Radius kaum zu bemerken ist. So könnte man versuchen, die von Friedrich beobachtete Erscheinung zu erklären. (Für die Verbindung mit der Figur 5 müßte man dann aber, um mit dem Richtungssinn des Verschwindens im Einklang zu bleiben, eine Einstellung der Elektronenebenen senkrecht zur z-Achse annehmen.) — Im Einklang mit diesen Deutungsversuchen steht die Angabe Friedrichs, daß ein großer Einfluß der Zusammensetzung der Primärstrahlung sich geltend mache. Denn eine Veränderung der Wellenlänge zieht, wie schon mehrfach betont, eine Veränderung der Größe k nach sich, wodurch die Funktionen Ψ_p und Φ_p in ganz anderer Weise beansprucht werden, und somit die V-Kurven in jedem Falle erheblich variieren.

Diesen Betrachtungen liegt aber eine Annahme zugrunde, die sicher nicht erfüllt ist, nämlich die, daß sämtliche Elektronenringe sich parallel geordnet haben. Das wird beim Druck noch weniger wahrscheinlich sein, man wird noch weniger von „Sättigung“ sprechen können, als etwa bei der Einwirkung eines magnetischen Feldes auf passend gewählte Substanzen. Man wird also stets mit einem Teil völlig regellos orientierter Teilchen, und einem Bruchteil geordneter zu rechnen haben. Ja, man könnte sogar an einen allmählichen Übergang von völliger Unordnung bis zur genauen Orientierung senkrecht zu irgendeiner Richtung denken, und eine irgendwie motivierte Verteilungsfunktion für die bestimmten Winkeln zuzuordnenden Anteile der Gesamtzahl N der durchstrahlten Teilchen einführen. Indessen wollen wir uns in dieser Arbeit auf eine solche Komplizierung der sonst einfachen Vorstellung nicht einlassen.

Auch bezüglich der verwendeten Grundvorstellung des amorphen, aus regellos angeordneten Molekülen bestehenden Körpers ist zum Schluß eine Bemerkung notwendig. Herr Debye hat auf Grund der zusammen mit Herrn Scherrer vorgenommenen Versuche[1]) über Interferenzen an regellos orientierten Teilchen im Röntgenlicht einen Standpunkt bezüglich dieser Grundvorstellung eingenommen, der sich nicht völlig mit dem früheren deckt[2]). Danach wären auch bei sogenannten „amorphen" Körpern, wie Wachs und Paraffin, nicht die hypothetischen Elektronenringe der Atome, sondern Mikrokriställchen die Ursache der beobachteten Ringfiguren. Die Anwendung der vorliegenden Berechnungen auf die Friedrichschen Experimente darf, da offenbar eine ganz andere Grundvorstellung möglich ist, deshalb nur mit Vorsicht geschehen.

Zur Klärung dieser und benachbart liegender Fragen sind experimentelle Untersuchungen in dem hier angedeuteten Sinne notwendig. Mit entsprechenden Vorbereitungen, besonders über etwa doch nachweisbare magnetische Beeinflussung der Beugung, sei es durch feste oder sei es durch flüssige Körper, die Crowther nicht gefunden hatte, bin ich seit geraumer Zeit beschäftigt. Die Ungunst der Verhältnisse für experimentelles Arbeiten, die zur Genüge bekannt ist, gestattet mir jedoch nicht, so rasch vorwärts zu kommen, wie ich es wohl wünschte. Aus diesem Grunde mögen die vorliegenden Berechnungen einstweilen ohne experimentelle Prüfung veröffentlicht werden.

1) Debye u. Scherrer, diese Zeitschr. **17**, 277, 1916; 18, 291, 1917.

2) Vgl. besonders diese Zeitschr. **17**, 279, 1916, Anmerkung 2. Herr Debye hat gelegentlich eines Briefwechsels mit mir diesen Standpunkt noch schärfer betont.

Institut f. Physikalische und Elektrochemie der Technischen Hochschule Charlottenburg, Juni 1920.

(Eingegangen 15. Juli 1920.)

Bemerkung über die Entstehung von Wirbeln in Flüssigkeiten.

Von George Jaffé.

Da nach dem Helmholtzschen Satze in einer reibungslosen Flüssigkeit unter der Wirkung von Kräften, die ein Potential haben, keine Wirbel entstehen können, pflegt man in der Reibung der Flüssigkeiten die Ursache für die Wirbelbildung zu sehen. Demgegenüber scheint es nicht überflüssig, darauf hinzuweisen, daß unter den gleichen Voraussetzungen in einer reibenden Flüssigkeit ebensowenig wie in einer reibungslosen Wirbel entstehen können.

Gehen wir von der Eulerschen Gleichung unter Berücksichtigung der Reibung aus:

$$\frac{\partial \mathfrak{v}}{\partial t} + (\mathfrak{v}\nabla)\mathfrak{v} = \mathfrak{f} - \frac{1}{\varrho}\nabla p + \frac{k}{\varrho}\nabla^2\mathfrak{v} + \frac{k}{3\varrho}\nabla \operatorname{div}\mathfrak{v} \qquad (1)$$

($\mathfrak{v}$ Geschwindigkeit, $\mathfrak{f}$ äußere Kraft pro Masseneinheit, p Druck, ϱ Dichte, k Reibungskonstante) und setzen die Flüssigkeit als inkompressibel voraus

$$\operatorname{div}\mathfrak{v} = 0, \qquad (2)$$

so erhält man aus (1) durch bekannte Vektorumformungen

$$\frac{\partial \mathfrak{v}}{\partial t} = \mathfrak{f} - \frac{1}{2}\nabla^2\mathfrak{v} + [\mathfrak{v}\mathfrak{w}] - \frac{1}{\varrho}\nabla p - \frac{k}{\varrho}\operatorname{curl}\mathfrak{w}, \qquad (3)$$

wo

$$\mathfrak{w} = \operatorname{curl}\mathfrak{v} \qquad (4)$$

gesetzt ist.

Nun untersuchen wir nach dem Vorgange von W. Thomson die zeitliche Änderung der Zirkulation längs einer geschlossenen Kurve, indem wir (3) in die Formel

$$\frac{d}{dt}\int_0 \mathfrak{v}\,d\mathfrak{s} = \int_0 d\mathfrak{s}\left|\frac{\partial \mathfrak{v}}{\partial t} - [\mathfrak{v}\mathfrak{w}]\right| \qquad (5)$$

eintragen. Es ergibt sich

$$\frac{d}{dt}\int_0 \mathfrak{v}\,d\mathfrak{s} = \int_0 d\mathfrak{s}\left|\mathfrak{f} - \frac{k}{\varrho}\operatorname{curl}\mathfrak{w}\right|. \qquad (6)$$

Wenn die Kräfte $\mathfrak{f}$ ein Potential haben und wenn der Anfangszustand überall wirbelfrei ist ($\mathfrak{w} = 0$), so verschwindet die rechte Seite von (6) längs jeder geschlossenen Kurve, und es kann dann also auch kein Wirbel entstehen[1]).

Andrerseits ist schon von verschiedenen Seiten darauf hingewiesen worden, daß es Fälle gibt, in denen auch ohne Mitwirkung von Reibung Wirbel tatsächlich entstehen. Klein[2])

1) Der Lagrangesche Satz, daß in einer vollkommenen, inkompressiblen Flüssigkeit unter der Wirkung von Kräften, die ein Potential haben, zu jeder Zeit ein Geschwindigkeitspotential existiert, wenn das für irgendeinen Zeitpunkt der Fall ist, gilt nach Stokes nicht für reibende Flüssigkeiten (G. G. Stokes, Math. u. Phys. Papers, Vol. I, S. 106). Die Betrachtung, durch welche Stokes diese Behauptung beweist, macht von tangentiellen Flächenkräften Gebrauch und beschränkt sich also nicht auf Kräfte, die ein Potential haben. Der Beweis im Text zeigt, daß der Lagrangesche Satz auch für reibende, inkompressible Flüssigkeiten gilt, wenn die Voraussetzungen für die ganze Flüssigkeit zutreffen. Dagegen gilt der Satz — im Gegensatz zu nicht-reibenden Flüssigkeiten — nicht mehr für einen beliebigen Teil der Flüssigkeit.

2) F. Klein, Zeitschr. f. Math. u. Physik, **58**, 259, 1910.

hat ein Beispiel dafür gegeben und den scheinbaren Widerspruch mit dem Helmholtzschen Satz durch die Bemerkung aufgeklärt, daß in dem betrachteten Fall zwei ursprünglich voneinander getrennte Flüssigkeitspartien zusammenfließen, „während bei der gewöhnlichen Begründung des genannten Satzes angenommen wird, daß Flüssigkeitsteilchen, welche einmal an der Oberfläche der Flüssigkeit liegen, immer auch an der Oberfläche bleiben".

Auch nach Lagally[1]) muß man die Existenz von Wirbelschichten in idealen Flüssigkeiten annehmen, wenn eine Strömung ein Hindernis umfließt; denn die Strömung läßt sich als Folge des Geschwindigkeitspotentials einer auf dem Rande des Hindernisses befindlichen Wirbelschicht darstellen. Der Widerspruch mit dem Wirbelsatz wird nach Lagally beseitigt, wenn man die gleichzeitige Entstehung zweier Wirbelschichten, die von demselben Punkt ausgehen, annimmt.

Man wird allgemein sagen können: immer, wenn ein solcher Anfangszustand vorausgesetzt wird, daß entweder an den Begrenzungen oder an gewissen Trennungsflächen im Inneren Sprünge der tangentiellen Geschwindigkeitskomponenten auftreten, ist die Möglichkeit gegeben, daß Wirbel in die Flüssigkeit gelangen, und zwar in beiden Fällen durch Reibung (nach dem Gesetz der „Wärmeleitung"[2])), im zweiten Falle auch ohne Mitwirkung von Reibung (durch Aufrollen der Trennungsschichten). Aber in allen diesen Fällen handelt es sich nicht um eine primäre Entstehung von Wirbeln. Jene vorausgesetzten Diskontinuitätsflächen im Inneren oder an der Grenze sind Wirbelschichten äquivalent, und die Frage nach der Entstehung der Wirbel ist also nur zurückgeführt auf die Frage nach der Entstehung der betreffenden Anfangszustände.

Will man die ursprüngliche Entstehung von Wirbeln mit den hydrodynamischen Gleichungen in Einklang setzen, so muß man die einschränkende Bedingung über die Natur der äußeren Kräfte fallen lassen. Wir wollen also nunmehr die allgemeinste Annahme machen, nämlich daß die äußeren Kräfte sich zum Teil als negativer Gradient eines skalaren Potentials V, zum Teil als curl eines Vektorpotentials $\mathfrak{B}$ darstellen

$$\mathfrak{k} = -\nabla V + \operatorname{curl} \mathfrak{B}. \tag{7}$$

Kräfte der letzteren Art mögen als „Wirbelkräfte" bezeichnet werden; sie sind natürlich nicht konservativ.

Setzen wir vorläufig die Flüssigkeit als reibungslos voraus und tragen (7) in (6) ein, so ergibt sich

$$\frac{d}{dt}\int_{\sigma} \mathfrak{v}\, d\mathfrak{s} = \int_{\sigma} \operatorname{curl} \mathfrak{B}\, d\mathfrak{s}. \tag{8}$$

oder nach Anwendung des Stokesschen Satzes

$$\frac{d}{dt}(\mathfrak{w}\, d\sigma) = \operatorname{curl}\operatorname{curl} \mathfrak{B}\, d\sigma, \tag{9}$$

wenn $d\sigma$ ein beliebiges, gerichtetes Oberflächenelement bedeutet. Danach ist zeitliche Änderung — also insbesondere Entstehung — von Wirbelmoment nur dort möglich, wo curl curl $\mathfrak{B}$ (d. h. also der curl der Kraft $\mathfrak{k}$) nicht verschwindet.

Ein einfaches Beispiel für die Entstehung von Wirbelbewegung in einer reibungslosen Flüssigkeit durch Wirbelkräfte ist folgendes. Man denke sich ein zylindrisches Gefäß von kreisförmigem Querschnitt, geteilt durch eine um die Zylinderachse drehbare ebene Querwand, die an der Zylinderwand dicht abschließt. Befindet sich in diesem Gefäß Flüssigkeit, die anfangs ruht, und wird die Querwand dann in Umdrehung versetzt, so entsteht eine Wirbelbewegung von überall gleichem Moment, ohne daß Reibung erforderlich wäre.

Bei Berücksichtigung der Reibung erhält man aus (6) und (7) an Stelle von (8)

$$\frac{d}{dt}\int_{\sigma} \mathfrak{v}\, d\mathfrak{s} = \int_{\sigma} d\mathfrak{s} \operatorname{curl}(\mathfrak{B} - \mathfrak{R}), \tag{10}$$

wenn

$$\mathfrak{R} = \frac{k}{\varrho}\mathfrak{w} \tag{11}$$

gesetzt wird. Die Reibungskraft ist also eine Wirbelkraft, deren Vektorpotential dem Wirbel proportional und entgegengesetzt gerichtet ist.

Wesentlich für die Entstehung von Wirbeln ist nach dem Vorhergehenden eine bestimmte Verteilung der äußeren Kräfte. Es ist nicht erforderlich, daß ein resultierendes äußeres Kraftmoment, wie in dem obigen einfachen Beispiel, vorhanden ist; es darf nur nicht das Linienintegral der Kraft längs jeder geschlossenen Kurve in der Flüssigkeit verschwinden. Die Wirbel der Kraft brauchen nicht räumlich stetig verteilt zu sein; es können auch Flächenwirbel der Kraft vorhanden sein. Jede tangentiell wirkende Oberflächenkraft stellt einen Flächenwirbel der Kraft dar. Natürlich muß die Flüssigkeit als reibend und an festen Körpern haftend vorausgesetzt werden, wenn tangentiell wirkende Oberflächenkräfte zur Wirksamkeit gelangen sollen. Auch diskontinuierlich wirkende Kräfte (Stöße) sind an den Sprungstellen Kraft-

1) M. Lagally, Münch. Ber. S. 79, 1915.
2) H. Lamb, Lehrbuch der Hydrodynamik, B. G. Teubner, Leipzig 1907, S. 666, 667.

wirbeln gleichwertig, und es wäre insbesondere noch darauf hinzuweisen, daß nach der Helmholtzschen Theorie der Strahlbildung auch die inneren Druckkräfte unstetig werden können, nämlich überall dort, wo sonst der Druck negativ werden würde[1]).

In allen diesen Fällen ist die notwendige Bedingung für die Entstehung von Wirbeln erfüllt, dagegen stellt die Zähigkeit der Flüssigkeit weder eine notwendige noch eine hinreichende Bedingung dar.

1) H. v. Helmholtz, Wissenschaftl. Abhandlungen. Bd. I, S. 148.

Leipzig, im Juli 1920.

(Eingegangen 29. Juli 1920.)

Atombau und chemische Eigenschaften.

Von Emil Kohlweiler.

I.

Bei der Aufstellung meiner Theorie der Elemententwicklung, des Atomkernbaus und der Isotopie[1]) ging ich entgegen der herrschenden Ansicht der Physiker von der Vorstellung aus, daß der chemische Charakter eines Elements wesentlich mitbedingt und in erster Linie gegeben ist durch den Atomkern. Ich nehme an, daß die Bausteine des Atomkerns, Heliumkerne, Wasserstoffkerne und Elektronen, derart zusammentreten, daß nach Bildung eines Kernzentrums, bestehend in einem Heliumkern oder zwei Wasserstoffkernen für die maximal geradwertigen Elementtypen, die nicht durch Elektronen des Kerns zu kompensierenden positiven Ladungen der Heliumkerne zu Gruppen à 8 Einheiten zusammentreten, und daß die nun übrigen, nicht gruppierten Ladungen, die von o bei den Edelgasen über 8 bei den 3 Kaskadenelementen der Gruppe o = VIII des periodischen Systems auf 14 bei den Halogenen anwachsen, den Gruppencharakter des Elements bestimmen, während die kleinere oder größere Zahl von Gruppen à 8 positiven Ladungseinheiten die Erscheinung der analogen Elemente und ein gleiches Mehr oder Weniger von positiven und negativen Quanten isotope Elemente bedingt.

Der Kern wird somit primär für die chemischen Qualitäten, wie auch für alle in der Masse verankerten physikalischen Eigenschaften verantwortlich gemacht, und lediglich in sekundärer Weise wirken bei der chemischen Funktion eines Elements die äußersten Elektronen des Elektronensystems mit[1]). Die Zahl dieser Elektronen entspricht der Zahl der ungruppierten positiven Quanten des Kerns und somit der Maxivalenzzahl des Elements. Die Hauptrolle spielen diese Elektronen bei den Wertigkeitswechseln der Atome, die sie erst ermöglichen, indem z. B. bei dem maximal 7-wertigen *Cl* mit $8+7$ ungruppierten Kernladungen und $8+7$ rotierenden Außenelektronen von diesen 2, 4 oder 6 durch 2, 4 oder 6 Kernquanten (1, 2 oder 3 *He*-Kerne der Valenzzone) direkt gebunden werden können, wodurch für die chemische Bindung nur noch 7—2, 7—4 bzw. 7—6 positive Quanten übrig bleiben, und derart 5-, 3- bzw. 1-wertig positives *Cl* entsteht, das sich aber von dem 5-wertigen *P*, dem 3-wertigen *Al* oder dem 1-wertigen *Na* dadurch unterscheidet, daß es nach wie vor seine $8+7$ Kernquanten in der Valenzzone hat, während *P* deren $8+5$ besitzt usw. Wie die gegebene Valenztheorie die Verhältnisse der Valenzwechselerscheinungen, des Wechsels des elektrochemischen Verhaltens, der Häufigkeit der Valenzwechsel, des paaren Valenzsprungs, der sog. Molekülverbindungen, der ionogenen Bindung, explosibler Verbindungen und isomerer Stoffe einfach zu übersehen erlaubt, kann unter Einführung der kleinen Änderungen meines Modells meinen früheren Arbeiten[2]) entnommen werden.

Neben den Valenzwechselerscheinungen fordern ein Zusammenwirken von positiven Kernquanten und Außenelektronen bei der chemischen Bindung auch die Verhältnisse der elektrolytischen Dissoziation, da Wertigkeit und Größe der elektrischen Ladung der Ionen einander entsprechen, sowie die Tatsache, daß die durch die Außenelektronen bedingten optischen Spektren nicht wie die Röntgenspektren eine additive Eigenschaft sind, d. h. daß eine chemische Verbindung ein Spektrum aufweist, das nicht einfach durch addierende Kombination der Spektren der enthaltenen Elemente entsteht. All diese Momente, die die Beteiligung der Außenelektronen bei chemischen Funktionen fordern, verdecken zunächst die Mitwirkung des Kernes für die Herausbildung der chemischen Qualitäten sehr weitgehend und können dadurch zu der Täuschung Veranlassung geben, daß lediglich diese Elektronen den Elementcharakter und die chemischen Funktionen eines Atoms bedingen.

Im folgenden will ich nun versuchen, einige Gründe darzulegen, die darauf hinweisen, daß

1) Diese Zeitschr. **21**, 203, 1920 u. **21**, 311, 1920. Zeitschr. f. phys. Chemie **94**, 515, 1920.

1) Zeitschr. f. phys. Chemie **94**, 516, 1920.

2) Zeitschr. f. phys. Chemie **93**, 1, 1918 u. **93**, 113, 1918.

tatsächlich außer den äußersten Elektronen auch der Kern des Atoms eine hervorragende Rolle bzw. die Hauptrolle bezüglich des Chemismus eines Elements spielt. Schon die Tatsache, daß die aufgestellte Valenztheorie zur atomkonstitutionellen Begründung des chemischen Verhaltens in weitem Maße ausreicht, und daß die eingangs erwähnte Theorie, aus der die Valenztheorie ohne weiteres direkt evolviert, durch Versuche von Rutherford, Stern und Volmer, Thomson und Aston[1]) sowie durch meine vorläufigen Versuchsdaten[2]) prinzipiell und zu einem Teil sogar quantitativ bereits bestätigt wurde, spricht für die unter Diskussion stehende Annahme.

II.

Nicht gegen die Kerntheorie spricht die Tatsache, daß die optischen Spektren keine additive Eigenschaft darstellen, und daß sie schwach periodischen Charakter[3]) zeigen, da ja nach meiner Annahme die äußersten Elektronen des Atoms, in ihrer Zahl periodisch schwankend, bei der chemischen Bindung, die von der Kernperipherie aus geregelt wird, mit in Funktion treten. Dasselbe ist über die Variation der magnetischen Eigenschaften eines Elements bei Eintritt desselben in eine chemische Verbindung zu sagen[4]).

Auch die Übereinstimmung der Valenzzahl mit der Anzahl der elektrischen Einheitsladungen bei den Ionen in Lösung[5]) fordert ebensowenig die Identifizierung der atomaren Ursache der chemischen Bindung mit der dieser Ionenladung, sondern lediglich eine parallele und entsprechende Funktion beider, eine sekundäre Abhängigkeit der einen von der anderen, wie sie meine Theorie einführt. Sodann finde ich den Schluß, daß die chemischen Eigenschaften beim Gang durchs periodische System periodisch schwanken, gleich den Atomvolumen, die durch den Durchmesser des äußersten Elektronenrings gegeben sein dürften, und daß infolge dessen auch die chemischen Eigenschaften durch dieselben äußersten Elektronen bedingt sein müssen[6]), sehr wenig überzeugend und bindend, schon deshalb nicht, da der Durchmesser des äußersten Elektronenrings selbst abhängt erstens von der Zahl und Anordnung der inneren Elektronen, die auf Grund der Röntgenspektren mit Periodizität nichts zu tun haben, und zweitens von dem Durchmesser des Kerns, der für Gold z. B. nach Darwin rund 10mal größer ist wie für Wasserstoff, so daß der Durchmesser des äußersten Elektronenrings keine primäre, unabhängige und selbständige Größe darstellt, und daher auch nicht direkt verantwortlich gemacht werden kann für die Raumbeanspruchung des Atoms. Aber selbst abgesehen hiervon, zwingt der Zusammenhang der „Raumbeanspruchung mit den Valenzverhältnissen und dem Bau des periodischen Systems" absolut nicht zu der Annahme „daß die chemischen Wirkungen auf äußerlichen Eigenschaften der Atome beruhen", denn die Logik: gleiche Folgen (Periodizität von Raumbeanspruchung und chemischen Wirkungen), gleiche Ursachen (äußerster Elektronenring für beide), ist bekanntlich nicht richtig.

Des weiteren halte ich den Gedankengang, der von der nicht periodischen Änderung der Hochfrequenzspektren auf den Sitz aller periodischen Eigenschaften im äußersten Elektronenring[1]) schließt, nicht für stichhaltig. Die Röntgenspektren beweisen nur, daß die inneren Elektronen keine periodischen Qualitäten bewirken können, lassen mithin die Frage, ob die periodisch schwankenden chemischen Eigenschaften durchs äußerste Elektronensystem oder durch den Kern bedingt sind, völlig offen.

Daß die auftretenden Wärmetönungen bei chemischen Prozessen und bei den aktiven Erscheinungen, die eine ausgesprochene Kerneigenschaft sind, sich von ganz verschiedener Größenordnung erweisen, ist einleuchtend und spricht nicht gegen die Heranziehung des Kerns zur Erklärung des Chemismus eines Atoms. Denn die beiden Vorgänge sind überhaupt nicht miteinander zu vergleichen, da es sich im Fall der Atomtransformation um eine (geordnete) Zerstörung eines Atomkomplexes, um die völlige Loslösung eines Teils vom Ganzen handelt, während bei der chemischen Bindung der Atomkern als solcher bestehen bleibt, weshalb auch die aktiven Eigenschaften eines Elements durch die Bildung einer Verbindung nicht variiert werden. Die ungruppierten positiven *He*-Kernquanten der Kernperipherie haben lediglich das Bestreben, ihre Zahl zu 8 oder $2 \cdot 8$ usw. zu ergänzen, um durch Bildung von 1 bzw. 2 usw. Kerngruppen den Zustand der äußersten Stabilität, wie ihn die Edelgase mit ihrem inerten Verhalten und ihrer fehlenden Valenzzone aufzuweisen haben, zu erreichen, wobei es jedoch zu keiner wirklichen Vereinigung und Bildung einer Kerngruppe kommt, sondern bei der Tendenz, eine solche zu bilden, welchen hieraus resul-

1) Vgl. diese Zeitschr. **21**, 203, 1920 u. **21**, 311, 1920.
2) Zeitschr. f. phys. Chem. **95**, 95, 1920.
3) W. Kossel, Ann. d. Phys. **49**, 229, 1916; A. Sommerfeld, Atombau u. Spektrallinien, 1920.
4) Vgl. K. Fajans, diese Zeitschr. **16**, 482 (IX, 10), 1915.
5) W. Kossel, l. c. S. 235.
6) A. Sommerfeld, l. c. S. 112.

1) A. Sommerfeld, l. c.

tierenden Zustand ich als Bindungsgruppe bezeichnete, verbleibt.

III.

1. Zu den Tatsachen, die nun die Abhängigkeit des Elementcharakters vom Atomkern fordern, gehören in erster Linie die radioaktiven Erscheinungen. Nicht die Aufnahme oder Abgabe von Außenelektronen verändern den chemischen Charakter eines Atoms, sondern die Emission von Kernbestandteilen, weshalb auch das Verschwinden der typischen chemischen Eigenschaften eines Elements beim Eintritt in eine Verbindung ebenfalls durch den Zustand des Kerns bedingt sein dürfte und nicht durch die gleichzeitig erfolgenden Änderungen der Zahl und Anordnung der Außenelektronen, die die Variation zahlreicher physikalischer Qualitäten bedingen, wie ja auch beim aktiven Atomzerfall sekundär Außenelektronen abgegeben oder aufgenommen werden, so daß das neue Element außer seinem typischen chemischen Verhalten, das aus der Kernrevolution hervorging, auch z. B. sein eigenes optisches Spektrum oder magnetisches Verhalten zeigt.

Überhaupt sind all die glänzenden Ergebnisse der Radioforschung unter gänzlicher Ignorierung des äußeren Elektronensystems, das nur sekundäre Veränderungen erleidet (z. B. Neutralisationsvorgang[1]), gewonnen worden. Die geniale Rutherford-Soddysche Theorie der Elementumwandlung, die großartigen Verschiebungssätze von Fajans und Soddy und die durch diese erst ermöglichte Einreihung der Radioelemente ins periodische System, die Theorie über das Wesen der Isotopen, sie alle operieren primär mit dem Kern allein[2]). Die Transformation eines Elements in ein anderes, also die Änderung der chemischen Eigenschaften eines Atoms, sind durch die Änderungen des Kernbaus gegeben und bedingt, sind durch die Emission einer α- oder β-Partikel aus dem Atomkern und nicht durch die nachträglich erfolgende Zurechtschiebung des äußeren Elektronensystems hervorgerufen.

Es sei mir erlaubt, zur Bekräftigung dieses ebenso klaren wie wichtigen Punktes einen der größten Gegner der Korntheorie zu zitieren. In seinem schon mehrfach erwähnten Werk „Atombau und Spektrallinien" schreibt Herr Geheimrat Sommerfeld[3]): „Sie (die Radioaktivität E. K.) greift durch Umwandlung des Kerns[4]), nach den Regeln der Verschiebungssätze, den Charakter des Elements[4]) an." Noch deutlicher äußert sich Herr Geheimrat Sommerfeld anläßlich der Frage, ob das β-Strahlelektron aus der äußeren Elektronenhülle des Atoms oder aus seinem Kern stammt[1]): „Im ersteren Falle würde der Charakter des Elements und seine Stellung im periodischen System unverändert bleiben. Wir hätten einen Vorgang, den wir als Ionisierung bezeichnen müßten. Das Element würde um eine Einheit positiv aufgeladen werden, aber seine chemischen Eigenschaften beibehalten. Wir wissen aber, daß auch die β-Umwandlungen neue Elemente entstehen lassen. Die β-Emission muß also wie die α-Emission aus dem Kern kommen". Ich denke, deutlicher kann wohl nicht mehr zum Ausdruck gebracht werden, daß die Änderung des chemischen Verhaltens und somit die chemischen Eigenschaften überhaupt nicht von Außenelektronen, sondern vom Kern bedingt sind.

Die sekundäre Aufnahme bzw. Abgabe von äußeren Elektronen bezeichnet Sommerfeld ganz den Tatsachen entsprechend als Neutralisationsprozeß[2]), also lediglich als eine Änderung der elektrischen Ladung und damit zusammenhängender anderer physikalischer Eigenschaften wie optische Spektren, Atommagnetismus u. dgl., während eine stoffliche Veränderung, eine Variation des chemischen Charakters mit diesem Vorgang nicht verbunden ist, was klar gegen den Sitz des Chemismus im äußeren Elektronensystem spricht.

2. Es sei noch auf 2 weitere radiologische Tatsachen hingewiesen, die gegen diese Annahme sind. Es ist eine bekannte Tatsache, daß weder physikalische noch chemische Methoden imstande sind, die Atomtransformationen der Radioelemente irgendwie zu beeinflussen? Die Radioaktivität ist eine Kerneigenschaft. Desgleichen ist es aber auch nicht möglich, die chemischen, stofflichen Qualitäten eines Elements zu verändern, obwohl zahlreiche physikalische Eigenschaften und die Zahl der äußeren Elektronen durch mannigfaltige Operationen variiert werden können: Der Chemismus dürfte daher analogerweise ebenfalls durch den Kern primär bedingt sein, während zahlreiche physikalische Eigenschaften im äußeren Elektronensystem zu lokalisieren sind, dessen mögliche Variation durch die Möglichkeit einer Ionisierung am besten belegt wird. Der chemische Grundcharakter eines Elements sitzt im Kern, ist durch dessen Bau bedingt; äußere Elektronen wirken bei der chemischen Bindung nur mit, und da diese äußeren Elektronen äußeren Ein-

1) A. Sommerfeld, l. c. S. 88.
2) Vgl. A. Sommerfeld, l. c.
3) S. 114.
4) Diese und die folgenden Sperrdrucke stammen vom Verfasser.

1) S. 87, 88.
2) l. c. S. 88.

flüssen zugänglich sind, ist es evident, daß auch die chemische Bindung und insbesondere die Größe der Wertigkeit von äußeren Bedingungen abhängig sind. Aber nie wird die Natur eines Elements durch eine Änderung äußerer Zustände, durch eine Beeinflussung seines äußeren Elektronensystems in Frage gestellt.

3. Äußerst interessant ist sodann in diesem Zusammenhang der Charakter der Umwandlungsgeschwindigkeit aktiver Stoffe. Diese Geschwindigkeit ist bekanntlich unabhängig von der Konzentration des aktiven Elements und gehorcht dem bekannten logarithmischen Gesetz, dem auch die monomolekularen Reaktionen, z. B. die Inversion des Rohrzuckers, unterworfen sind. Der zeitliche Verlauf zweier verschiedener Vorgänge, der aktiven und der rein chemischen, folgen genau demselben Gesetz. Spricht das nicht deutlich dafür, daß der Sitz beider Vorgänge derselbe, nämlich der Atomkern, und nicht ein verschiedener ist? Die bestehenden Unterschiede betreffs Reaktionswärme und Beeinflussung sind darauf zurückzuführen, daß im einen Fall eine Kernveränderung erfolgt, während bei dem Zerfall einer chemischen Verbindung die Atomkerne in ihrem Innern unverändert bestehen bleiben und nur ihre Wirkung gegeneinander modifiziert wird. Wie aber aus dem typischen Radium z. B. die beiden ebenso typischen Elemente Helium und Niton als Folge eines Kernvorgangs entstehen, so dürfte der Sachverhalt, daß durch Zusammentritt zweier Elemente eine Verbindung mit vollständig neuen und typischen stofflichen Merkmalen entsteht und umgekehrt beim Zerfall eines Moleküls in seine Atome die rein stofflichen Qualitäten des ersteren vollständig durch andere der Zersetzungsprodukte ersetzt werden, darauf hindeuten, daß auch die chemische Reaktion durch den Kern in erster Linie geregelt wird. Jeder aktive Vorgang und jeder chemische Vorgang hat seine charakteristische Geschwindigkeitskonstante, die abhängig ist von der besonderen stofflichen Beschaffenheit der in Betracht kommenden Elemente, während der rein physikalische Prozeß der Neutralisation von Ionen durch Elektrolyse z. B. gemäß dem Faradayschen Gesetz unabhängig von der besonderen chemischen Beschaffenheit (Na^+ oder Cl^-) ist. Außerdem ist die Gewichtsmenge des bei der Elektrolyse entstehenden Stoffes unabhängig von der Konzentration der Lösung im Gegensatz zu radioaktiven und chemischen Prozessen, bei denen die umgesetzte Menge mit der Konzentration wächst und umgekehrt. Wir sehen deutlich, daß der chemische Prozeß sich anders verhält wie der vom äußeren Elektronensystem bedingte physikalische Prozeß, daß er sich aber ebenso abspielt wie der vom Kern abhängige aktive Vorgang, ein Argument, das sehr zugunsten der eingeführten Theorie spricht.

4. Die Zurückführung der chemischen Bindung auf die Wirkung einer Elektrovalenz[1]) ist sodann schon deshalb nicht ausreichend, da vorhandene Elektroaffinität durchaus nicht zur chemischen Bindung führt. Anderenfalls müßte das α-Partikelchen oder das He^{++}-Kanalstrahlteilchen, die beide zweifelsohne Affinität zum Elektron aufweisen und ihre Elektrovalenz durch Aufnahme von Elektronen absättigen, diese Absättigung auch durch Bildung einer entsprechenden Verbindung vornehmen können, was nicht der Fall ist. Das He^{++}-Ion besitzt die physikalische Eigenschaft der Elektrovalenz, d. h. es hat, da ihm 2 Elektronen für den neutralen Zustand fehlen, das Bestreben, die fehlenden Elektronen aufzunehmen, und das He^{++}-Ion vermag daher die physikalische Erscheinung der Ionisierung von Gasen hervorzurufen. Niemals verbindet sich aber das Ion mit den Molekülen, Atomen oder Ionen eines Gases, so wenig wie das neutrale He-Atom, woraus doch deutlich folgt, daß die durch Variation im äußeren Elektronensystem bedingte Affinität zum Elektron nur physikalische aber keine chemischen Erscheinungen bedingt. Ebenso sind C^{+}, C^{++}, H^{+}, H^{-}, O^{+}, O^{-}, O^{++}, N^{+}, N^{-}, N^{++}, H_2^{+}, J^{+}, Br^{+}, Hg^{+}, Hg^{++}, Hg^{+++}-Kanalstrahlpartikelchen wohl elektroaffin, aber sie benötigen zur Absättigung stets Elektronen allein oder geben solche vollständig ab, andere Atome und Moleküle ionisierend, sich aber nie mit diesen mit einer nach Art und Größe der elektrischen Ladung entsprechenden Wertigkeit verbindend. Warum aber nicht, wenn die chemische Bindung und Wertigkeit durch das äußere Elektronensystem bedingt werden?

5. He^{++} ist nicht chemisch zweiwertig wie Magnesium, weder wie dessen Atom noch wie dessen Ion; es ist nur elektroaffin wie das Mg-Ion, und wie dieses durch den rein physikalischen Vorgang der Aufnahme von 2 Elektronen aus der Kathode bei der Elektrolyse neutralisiert wird, und zwar unter Beibehaltung seiner chemischen Zweiwertigkeit, reißt auch He^{++} bei Gelegenheit zur Neutralisation 2 Elektronen an sich, ebenfalls unter konstanter Valenz null. Während Mg^{++} aber parallel der Aufnahme von 2 Elektronen in sein äußeres Elektronensystem eine regelrechte chemische Verbindung eingehen kann, $MgCl_2$ z. B. durch Zusammenmischen

1) W. Kossel, Ann. d. Phys. **49**, 230f., 1916.

zweier Lösungen mit Mg^{++}- bzw. Cl^{-}-Ionen, und zwar dieselbe Verbindung, die auch das Mg-Atom mit seinem erheblich anderen äußeren Elektronensystem zu bilden vermag, existiert ein analoges $HeCl_2$ nicht. Mg und Mg^{++} verhalten sich chemisch gleich, physikalisch aber nicht, dasselbe gilt von He und He^{++}, dagegen verhalten sich Mg^{++} und He^{++} physikalisch ähnlich, chemisch aber grundverschieden.

6. Ferner werden Mg oder Hg niemals lediglich durch Abgabe zweier Elektronen, z. B. als Kanalstrahlteilchen, in denselben stabilen Zustand kommen wie bei der Bildung einer Verbindung, MgO oder $HgCl_2$. Dies müßte aber der Fall sein, wenn, wie Kossel annimmt[1]), das Mg-Atom aus Stabilitätsgründen lediglich die Tendenz hätte, 2 Elektronen los zu werden, um den stabilen Zustand der Elektronen des vorhergehenden Edelgases herausbilden zu können. Analog sind H- oder O-Ionen weder in Lösung noch im Kanalstrahl allein und auf die Dauer existenzfähig; alle Ionen gehen vielmehr sehr leicht in die Atome zurück, während die Erzeugung von Ionen aus Atomen im Kanalstrahl oder durch Stoßionisierung mittels der α-Partikel z. B. großen Arbeitsaufwand bedingt, was der Kosselschen Annahme über Stabilitätsverhältnisse widerspricht. Es ist schließlich auch ohne weiteres klar, daß bei einer Kernladung mit 17 überschüssigen positiven Quanten (Cl) ein System mit 17 und nicht mit 18 äußeren Elektronen die größte Stabilität besitzt, was entgegen der Kosselschen Annahme dadurch bestätigt wird, daß Ionen unbeständiger sind wie ihre Atome, und daß Atome niemals, Ionen aber immer Affinität zum Elektron zeigen. Diese rein physikalischen Angelegenheiten haben aber mit den chemischen Verhältnissen nichts zu tun, sie können höchstens, worauf ich bereits früher hingewiesen habe[2]), einander parallel gehen.

7. Es sei besonders noch der Fall Hg hervorgehoben. Quecksilber ist offenbar im $Hg^{++++++++}$ oktaelektroaffin, aber niemals chemisch 8-wertig. Dieses Hg-Ion geht wohl sehr leicht durch Aufnahme von 8 Elektronen in das Hg-Atom über — obwohl sein äußeres Elektronensystem dem „stabilen Zustand" eines Edelgases näher steht als das des Atoms! — aber eine Verbindung HgF_8 oder HgO_4 ist nicht bekannt. Tatsache ist, daß das Hg-Atom 8 äußere Elektronen verlieren kann, Tatsache ist aber auch, daß Hg chemisch niemals 8-wertig fungiert. Folglich darf die 8fache positive Aufladung nicht mit der chemischen Wertigkeit identifiziert und überhaupt die rein elektrische Ladung eines Atoms durch Verlust oder Aufnahme von Elektronen im äußeren Elektronensystem nicht verwechselt werden mit den Ursachen der chemischen Bindung, mit der chemischen Wertigkeit, und es dürfte ohne weiteres klar sein, daß es ganz unzulässig ist, das $Hg^{++++++++}$-Ion im Kanalstrahl als 8-wertig neben und gleich RuO_4 und OsO_4[1]) zu setzen, so unzulässig wie der Vergleich von mit Elektrovalenz ausgestatteten Edelgasionen mit chemischen Verbindungen, wie der α-Partikel He^{++} mit MgO oder $BaCl_2$!

8. Weiter ist darauf hinzuweisen, daß Atom und Ion chemisch gleich reagieren: Na^{+} und Cl^{-} vereinigen sich zu demselben $NaCl$ wie Na und Cl beim Leiten von Chlorgas über erhitztes metallisches Natrium und zu demselben $NaCl$, das bei der Behandlung von Na^{+} einer $NaOH$-Lösung mit Chlorgas nach der Reaktionsgleichung

$$2\,NaOH + Cl_2 = NaCl + NaOCl + H_2O,$$

worin

$$NaOH,\ NaCl \text{ und } NaOCl$$

dissoziiert sind:

$$2\,OH^{-} + Cl_2 = Cl^{-} + OCl^{-} + H_2O,$$

entsteht. Dieses Verhalten, für das noch beliebig viele Beispiele angeführt werden könnten, wäre nicht möglich, wenn die chemischen Qualitäten vom äußeren Elektronensystem bedingt würden, da in diesem Fall verschiedene Besetzung des äußeren Elektronenrings (Na gegen Na^{+}, Cl gegen Cl^{-}) unbedingt verschiedenes chemisches Verhalten zeitigen müßte. Es sind aber lediglich physikalische Merkmale, wie Farbe oder Magnetismus z. B., die Atom und Ion voneinander unterscheiden.

9. Es wird chemisch das zweiwertige Bleiion oder das Pb einer entsprechenden chemischen Verbindung wie $PbCl_2$ nicht etwa identisch mit Quecksilber sein, oder Fe^{++} mit Cr, Fe^{+++} mit V, Hg^{++} mit Au^{+} und beide mit Pt, Fe^{+++} mit Mn^{++}, Mn^{++++} mit Cr^{++}, Cl^{-} mit Ar und beide mit S^{--} usw. identisch sein! Tatsächlich besitzen die Glieder der angeführten Gruppen durchweg dieselbe Zahl von Elektronen im Außensystem, und da die einzelnen Glieder derselben Periode im periodischen System angehören und die Röntgenspektren durch die chemische Bindung nicht beeinflußt werden, muß nicht nur die Anordnung der Innenelektronen gleich, sondern auch die Konfiguration der äußersten Elektronen mindestens sehr nahe übereinstimmend sein, so

1) l. c.
2) Zeitschr. f. phys. Chemie **93**, 28 u. 29, 1918.

1) W. Kossel, l. c. S. 252.

daß, wenn man aus der Erscheinung der analogen Elemente noch den Schluß zieht, daß die Anzahl und nicht die Anordnung das bei weitem Ausschlaggebendere ist, auf Grund der Kossel-Sommerfeldschen Anschauung der unüberbrückbare, chemische Unterschied zwischen Halogenion und Edelgas, Mercurion und Auroion usw. einfach unmöglich wäre.

10. Es ist in diesem Zusammenhang von ganz besonderem Interesse, auf den Abschnitt Kossels über Paramagnetismus hinzuweisen[1]). Kossel zeigt daselbst an Hand einer anschaulichen graphischen Darstellung, daß eine physikalische Qualität, der Atommagnetismus, der „in erster Linie eine Funktion der Zahl der im Atomsystem anwesenden Elektronen ist", tatsächlich für Ionen mit gleicher Elektronenzahl gleich ist. So besitzen das Ferri- und das Manganoion oder das Mangani- und das Chromoion, von denen die beiden Systeme des ersten Paares je 23, des zweiten je 22 Elektronen aufweisen, gleiche magnetische Momente. Kein Physiker und kein Chemiker wird aber behaupten können, daß Mn^{+++} und Cr^{++} z. B. dieselben chemischen Eigenschaften besitzen, wie es unter Gültigkeit der Kossel-Sommerfeldschen Annahmen sein müßte. Auch das optische Verhalten, das allerdings weit mehr durch die Anordnung und Bindung der äußeren Elektronen mitbedingt sein dürfte, zeigt bei gleicher Elektronenzahl weitgehende Übereinstimmung, die wieder auf chemischem Gebiet gänzlich fehlt. Sowohl die Lösung des Mangani-sulfats $Mn_2(SO_4)_3$, des Kaliummanganioxalats $Mn(C_2O_4)_3K_3$, der Cäsium- und Rubidium-Manganalaun mit ebenfalls dreiwertigem Mangan $CsMn(SO_4)_2$ bzw. $RbMn(SO_4)_2$, als auch das Chromoacetat, Chromoformiat und Chromomalonat sind rot gefärbt; Cupro- und Zinkionen mit je 28 Elektronen, Pb^{++++} und Hg^{++} mit je 78 Elektronen, Pb^{++} und Hg-Dampf mit je 80 Elektronen, Sb^{+++++}, Sn^{++++}, In^{+++}, Cd^{++} und Ag^{+} mit je 46 Elektronen sind alle farblos. Besonders typisch ist, daß die intensiv gefärbten Halogene sämtlich Ionen liefern, die farblos sind, genau wie die folgenden neutralen Edelgasatome, mit denen sie die Zahl der äußeren Elektronen gemein haben. Von einer auch nur angenähert chemischen Ähnlichkeit des J^- mit X z. B. kann dagegen keine Rede sein. Der Fall liegt ganz klar: Physikalische Qualitäten, wie magnetisches Moment und Farbe, die durch die äußersten Elektronen bestimmt sind, stimmen für Systeme mit gleicher Elektronenzahl tatsächlich weitgehend überein; für chemische Qualitäten gilt dies auch nicht angenähert, weshalb das chemische Verhalten unserer Grundstoffe nicht durch das Außenelektronensystem geregelt sein kann.

11. Umgekehrt ist ein chemischer Typ unabhängig von der Zahl seiner äußeren Elektronen: Hg ist eben Hg, einerlei ob es elementar als Summe von neutralen Atomen im Dampfzustand auftritt, ob es einwertig oder zweiwertig fungiert, ob es ionisiert oder nicht ionisiert auftritt oder ob es im Kanalstrahl 1, 2 oder 8 Elektronen verloren hat, und allein zahlreiche physikalische Eigenschaften ändern sich mit der Zahl der Außenelektronen. Daher kann ein und dasselbe chemische Element z. B. verschiedene Spektren geben: He, He^+ und He^{++}, welch letzteres gemäß des völligen Mangels von Elektronen überhaupt keine Optik hat, besitzen verschiedenes optisches Verhalten, ohne verschiedene Elemanttypen zu repräsentieren, und analog enthalten die farblosen diamagnetischen Cuprosalze und die blauen Lösungen der paramagnetischen Cuprisalze eben beide das Element Kupfer.

12. Übereinstimmend damit kann ein Ion leicht in sein Atom oder ein anderswertiges Ion desselben Elements übergeführt oder umgekehrt ein Atom ionisiert werden, während die den Elementcharakter angreifende aktive β-Transformation eine Energietönung von ganz anderer Größenordnung zeigt und nicht rückgängig gemacht werden kann: Das Ion ist ein physikalisches Phänomen des äußeren Elektronensystems, aber trotz seiner abgeänderten Zahl von Außenelektronen kein neuer chemischer Typ, der nur als Deszendent eines β-Strahlers durch Kernvariation erscheint.

13. Endlich sei noch auf den optischen Verschiebungssatz von Kossel und Sommerfeld hingewiesen. Nach diesen ist das Funkenspektrum eines Elements identisch mit dem Bogenspektrum des vorhergehenden Elementtyps, was konstitutionell mit größter Wahrscheinlichkeit darauf zurückzuführen sein wird, daß im Funken dem neutralen Atom 1 Elektron mehr abgespalten wird als im Flammenbogen. Verliert also z. B. K im elektrischen Flammenbogen n Elektronen, so verliert das folgende Ca im Funken $n+1$ Elektronen, wodurch K^{n+} und $Ca^{(n+1)+}$ dieselbe Zahl von äußeren Elektronen besitzen und so dasselbe optische Verhalten zeigen müssen. Trotzdem wird man nicht behaupten können, daß Ca im Funken K gäbe oder K im Bogenlicht in Ca übergeht, oder daß in beiden Fällen dasselbe dritte Element entstehe und vorhanden sei. Die gleichen Spektren von K und Ca, unter verschiedenen Bedingungen erzeugt, sind eben die

1) l. c. S. 260.

Spektren von K und Ca, die Spektren der beiden chemisch verschiedenen Elementtypen mit der unveränderlichen, im Wechsel der Bedingungen konstant bleibenden Kerndifferenz 19 bzw. 20. Nicht die Zahl der Außenelektronen, sondern die Kernladung definiert einen chemischen Typus: Nicht ein System mit 18 Außenelektronen ergibt den chemischen Typ Ar; denn 18 äußere Elektronen besitzen auch S^{--}, Cl^{-}, K^{+}, Ca^{++} usw. ohne Edelgas- und speziell Ar-Charakter zu zeigen; der chemische Typ Ar ist vielmehr allein durch die Kerndifferenz 18 definiert, unabhängig von der Zahl der Elektronen im äußeren Elektronengerüst. Kernbau und Kernladung bestimmen den chemischen Typ und sind die fundamentalen Daten des chemischen Elements, auf denen gemäß der van der Broek-Rutherford-Bohrschen Ideen die Atomstrukturchemie sich aufbauen muß.

Stuttgart, Juni 1920.

(Eingegangen 3. August 1920.)

Bemerkung zu den Grundlagen der Relativitätstheorie [1].

Von K. Wessely.

Einer ruhenden Achse Ox, auf welcher untereinander vollständig übereinstimmende „t"-Uhren verteilt sind, sei eine mit der Geschwindigkeit v bewegte Achse $O'\xi$ überlagert, welche „τ"-Uhren trägt. Ein zur Zeit $t = 0$ von O nach M im Abstande x ausgesandtes Lichtsignal wird zur Zeit

$$t_1 = \frac{O'M}{V - v}$$

in M eintreffen und nach seiner Reflexion zur Zeit

$$t_2 = \frac{O'M}{V - v} + \frac{MO'}{V + v}$$

wieder im Ursprung der ξ-Achse einlangen, wenn V die Lichtgeschwindigkeit bedeutet und $OO' = vt_1$. Soll die Zeigerstellung der „τ"-Uhr in M beim Einlangen des Lichtes den halben Wert zeigen von jenem Wert, welchen die „τ"-Uhr bei der Rückkehr des Lichtes im Ursprung aufweist, so müssen die Zeiger der „τ"-Uhren von Anfang an, d. h. zur Zeit $t = 0$ um einen dem Abstande ξ proportionalen Betrag $\mu \cdot \xi$ gegeneinander verstellt sein.

Setzt man also voraus: $\tau = t + \mu\xi$, so folgt aus der Forderung:

$$\frac{O'M}{V - v} + \mu \cdot O'M = \frac{1}{2}\left(\frac{O'M}{V - v} + \frac{O'M}{V + v}\right)$$

$$\mu = -\frac{v}{V^2 - v^2}\,^{1}).$$

Vergleicht man die Differenz zweier Zeigerablesungen an einer bestimmten, im Abstande ξ befindlichen, „τ"-Uhr mit der Differenz jener Zeigerstellungen, welche die jeweils überdeckten „t"-Uhren zeigen, so ergibt sich für beide Fälle derselbe Wert der Zeitdauer.

Vergleicht man aber die Differenz zweier Zeigerablesungen an einer bestimmten, im Abstande x, befindlichen „t"-Uhr mit der Differenz jener Zeigerstellungen, welche die jeweils vorüberkommenden, überdeckten, verschiedenen „τ"-Uhren zeigen, so ergeben sich, wegen der anfänglichen Zeigerverstellung der „τ"-Uhren, verschiedene Werte der Zeitdauer.

Substituiert man in der Gleichung

$$\tau = t + \mu \cdot \xi$$

für ξ seinen Wert $x - vt$, so folgt

$$\tau = t \cdot \frac{V^2}{V^2 - v^2} + \mu \cdot x,$$

d. h. die in einem bestimmten Abstand x der ruhenden Achse mit den verschiedenen nacheinander vorüberkommenden „τ"-Uhren bestimmte Zeitdifferenz ist das $\frac{V^2}{V^2 - v^2}$fache der mit einer bestimmten t-Uhr gemessenen Zeitdauer.

Bringt man dieses Verhalten in der Form zum Ausdruck, daß man sagt: Vom ruhenden (x)-System aus betrachtet scheinen die bewegten „τ"-Uhren $\frac{V^2}{V^2 - v^2}$ mal so schnell zu gehen als die ruhenden Uhren, so gilt das nur, so lange die x-Achse als die ruhende und die ξ-Achse als die bewegte betrachtet wird, aber nicht für den Fall, daß man die ξ-Achse als ruhend und die x-Achse als mit der Geschwindigkeit $-v$ bewegt betrachtet.

Eine vollständige Reziprozität zwischen bewegtem und ruhendem Koordinatensystem in bezug auf diese „fiktiven" Zeitangaben wird aber hergestellt, wenn man den „τ"-Uhren nebst ihrer anfänglichen Zeigerverstellung noch einen Gangunterschied gegenüber den „t"-Uhren gibt. Läßt man die τ-Uhren λ mal so schnell gehen als die t-Uhren, so wird eine bestimmte t-Uhr im Abstande x den $\frac{1}{\lambda} \cdot \frac{V^2 - v^2}{V^2}$fachen Betrag

[1] Vgl. Wied. Ann. 1905, S. 891.

[1]) Würden die „τ"-Uhren λ mal so schnell gehen, als die t-Uhren, so zeigt eine einfache Überlegung, daß

$$\mu = -\lambda \frac{v}{V^2 - v^2}$$

wird.

jener Zeitdifferenz zeigen, welche die Ablesung an den verschiedenen nacheinander vorüberkommenden „τ"-Uhren ergibt, und es kann λ so bestimmt werden, daß

$$\lambda = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{V^2 - v^2}{V^2}$$

$$\lambda = \frac{\sqrt{V^2 - v^2}}{V}.$$

Die Gleichung

$$\tau_\xi = \frac{\sqrt{V^2 - v^2}}{V}\left(t - \frac{v}{V^2 - v^2}\xi\right) \qquad (1)$$

oder da $\xi = x - vt$

$$\tau = \frac{V}{\sqrt{V^2 - v^2}}\left(t - \frac{v}{V^2} x\right). \qquad (2)$$

(wobei die Zeitablesungen, die sich auf eine bestimmte Uhr beziehen, durch Indizes ξ und x angedeutet sind), ist identisch mit der von Einstein abgeleiteten Beziehung.

Ein „Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit" kommt hier aber im Gegensatz zur Einsteinschen Entwicklung nicht zur Anwendung. Die Schlußfolgerungen gelten genau so, wenn unter V die Geschwindigkeit irgendeines im ruhenden System gleichförmig bewegten Körpers verstanden wird. — Es ist auch von einer scheinbaren Änderung der Längenmaße infolge der Bewegung hier keine Rede. — Diese letztere Begriffsbestimmung in der Einsteinschen Ableitung rührt eben nicht von der Definition der Gleichzeitigkeit her, sondern ist eine selbstverständliche Folge der stillschweigend gemachten Voraussetzung, daß die Maßzahlen der Geschwindigkeiten V und v beim Übergang von einem Zeitmaß zu einem anderen ungeändert bleiben. Dann müssen natürlich die Maßzahlen der Längen in derselben Weise geändert werden, wie die Maßzahlen der Zeiten.

Das Additionstheorem.

Wenn sich ein Körper längs der bewegten ξ-Achse gleichförmig bewegt, so kann man jenen Weg „a" als seine Geschwindigkeit bezeichnen, den er zurückgelegt hat, wenn der Zeiger einer mitgeführten „t"-Uhr um die Einheit fortgeschritten ist.

Man kann aber auch jenen Weg „ϱ" als Geschwindigkeit bezeichnen, der zurückgelegt ist, sobald der Körper an einer auf der ξ-Achse ruhenden τ-Uhr vorbeikommt, deren Zeiger gerade um die Einheit abweicht von jener Zeigerstellung, die beim Beginn der Bewegung vom Ursprung aus, eine dort vorhandene τ-Uhr hatte. Die Größe dieser Strecke oder Geschwindigkeit muß gleich sein $\frac{a}{\lambda + \mu a}$, weil $\varrho \cdot \tau = \varrho(\lambda t + \mu\xi) = \xi$ für $t = 1$ und $\xi = a$ übergeht in $\varrho \cdot (\lambda + \mu a) = a$.

Da eine t-Uhr λmal so schnell geht (s. Gleichung 2) als die „fiktive τ-Zeit ohne Index" abzulaufen scheint, wird die Maßzahl von ϱ durch Multiplikation mit $\frac{1}{\lambda}$ auf „t"-Zeit reduziert. Nennt man diesen Wert $\frac{\varrho}{\lambda} = w$, so folgt aus:

$$w = \frac{a}{\lambda^2 + \mu\lambda a},$$

$$a = \frac{w\lambda^2}{1 - \mu\lambda w}.$$

Für die Summe der beiden Geschwindigkeiten v und a ergibt sich hieraus nach einfacher Rechnung:

$$v + a = \frac{v + w}{1 + \frac{vw}{V^2}}.$$

Diese Regel ist identisch mit dem Einsteinschen Additionstheorem, obwohl sich dieses nicht auf die Zusammensetzung von v mit w, sondern auf die Zusammensetzung der hier mit v und ϱ bezeichneten Geschwindigkeiten bezieht. Die Gleichung bleibt trotzdem ungeändert, weil es eben rechnerisch dasselbe ist, ob man die Maßzahl der Geschwindigkeit ϱ beim Übergang zur t-Zeit ungeändert läßt und die Maßzahlen der Längen ändert oder umgekehrt.

Dem physikalischen Inhalt nach stimmt das Additionstheorem

$$x = \frac{v + w}{1 + \frac{vw}{V^2}} \cdot t,$$

mit der seit je her geübten Addition

$$x = (v + a) \cdot t$$

vollständig überein.

(Eingegangen 9. August 1920.)

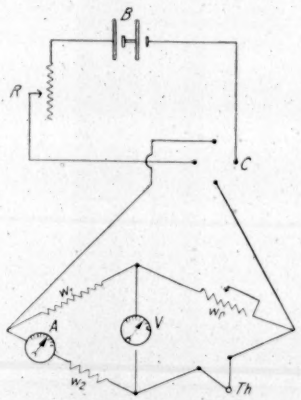
Eine Schaltung zur Eichung von Thermoelementen als Wechselstrommesser.

Von Walther Gerlach.

Bei der Widerstandsmessung mit der Wheatstoneschen Brücke verwendet man im Hauptstromkreis einen Stromwender, um in einem der Zweige eventuell vorhandene Thermokräfte zu eliminieren; diese verlegen nämlich den Null-

punkt des Brückengalvanometers entsprechend ihrer Richtung und Größe, so daß der zu messende Widerstand scheinbar größer oder kleiner als sein richtiger Wert gefunden wird. Bei Anwendung des Kommutators gleicht man daher zur Eliminierung dieser Fehlerquelle die Brücke nicht zum Nullpunkt des Galvanoskops ab, sondern so, daß der Ausschlag sich beim Wenden des Stromes nicht ändert. Hierin liegt eine sehr bequeme Methode zur Eichung von Thermoelementen, welche z. B. als Wechselstrommesser dienen sollen, auf die hinzuweisen in dieser kurzen Mitteilung gestattet sei.

Die Schaltung ergibt sich aus der Figur;



es bedeutet: B die Gleichstromquelle, R ein Regulierwiderstand, C der Kommutator, $W_1 W_2$ zwei Widerstände (Größenordnung 1000 Ω), W_r ein Regulierwiderstand, Th das zu eichende Thermoelement. Die Größe von W_r wird so gewählt, daß sie etwa gleich dem Widerstand des Thermoelements Th ist. A ist ein Ampèremeter zur Messung des Belastungsstromes des Thermoelements, V dient gleichzeitig als Brückengalvanoskop und als Voltmeter zur Messung der Spannung des Thermoelements.

Die Eichung des Thermoelements erfolgt also mit Gleichstrom derart, daß mit wachsender Belastung der Brücke dieselbe so abgeglichen wird, daß das Galvanoskop V beim Wenden des Stromes J keine Ausschlagänderung erfährt. Mit wachsendem Strom wird sich dieser Punkt immer mehr von der Nullage des Brückeninstruments (d. i. für $J = 0$) entfernen. Die Verschiebung dieser Punkte konstanten Ausschlags beim Kommutieren gegen die Nullage des Instruments V gibt, als Funktion von J aufgetragen, die Eichkurve des Thermoelements.

Als Vorteil dieser Eichung gegenüber der sonst üblichen Methode, bei der das Thermoelement direkt in einem einfachen Stromkreis liegt, dessen Strom kommutiert wird, sei erwähnt, daß das am Thermoelement liegende Voltmeter Spannungsabfall im Thermoelement und Thermokraft anzeigt, wobei die letztere aber meist nur einen Bruchteil der ersteren Größe beträgt.

Elberfeld, Physik. Laboratorium der Farbenfabriken vorm. Friedr. Bayer & Co., 3. August 1920.

(Eingegangen 13. August 1920.)

Zu Plancks Theorie der verdünnten Lösungen.

Von P. Boedke.

Wie ich an anderer Stelle[1]) gezeigt habe, ergibt die Auswertung der Glieder zweiter Ordnung in den von Planck für verdünnte Lösungen angegebenen Reihenentwicklungen eine qualitativ zutreffende Beschreibung der kritischen Lösungserscheinungen gewisser binärer Gemische und scheint sonach ein Vordringen der Theorie in die Gebiete höherer Konzentrationen zu gestatten. Damit entsteht die Frage, ob diese Glieder zweiter Ordnung auch bereits zu einer allgemeineren quantitativen Formulierung der Erscheinungen in konzentrierten Lösungen ausreichen, was im Interesse der Ökonomie des Rechnungsaufwands natürlich sehr zu wünschen wäre. Leider scheint diese Frage verneint werden zu müssen, wie der Vergleich der nachfolgenden Rechnungen mit den Versuchsergebnissen erkennen läßt.

Vorgelegt sei ein binäres Gemisch. Die Massen der beiden Bestandteile seien m_1 und m_2, ihre Konzentrationen

$$c_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2}, \qquad c_2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2},$$

r_1, r_2 seien Konstante, φ_0, φ_1, φ_2 usw. Funktionen allein von der Temperatur T, der Einfluß des Druckes werde vernachlässigt. Die Entwicklung des spezifischen Wertes φ der Planckschen Φ-Funktion nehmen wir in der Form an

$$\varphi = -r_1 c_1 \log c_1 - r_2 c_2 \log c_2 + \varphi_0 + \left| + \varphi_1 c_1 + \varphi_2 c_1^2 + \varphi_3 c_1^3 + \varphi_4 c_1^4 + \ldots \ldots \right| \quad (1)$$

Dabei ist in der Potenzreihe c_2 auf Grund der Beziehung

1) Ann. d. Phys. **61**, 334, 1920.

$$c_1 + c_2 = 1$$

überall durch c_1 ersetzt worden.

Der kritische Lösungspunkt des Gemisches wird durch

$$\frac{d^2\varphi}{dc_1^2} = 0, \quad \frac{d^3\varphi}{dc_1^3} = 0 \quad (T = \text{const}),$$

bestimmt. Durch Einsetzen von (1) ergeben sich daraus die beiden Gleichungen

$$\frac{\gamma_1}{c_1} + \frac{\gamma_2}{c_2} = 1\cdot 2\varphi_2 + 2\cdot 3\varphi_3 c_1 + 3\cdot 4\varphi_4 c_1^2 + \cdots,$$
$$-\frac{\gamma_1}{c_1^2} + \frac{\gamma_2}{c_2^2} = 1\cdot 2\cdot 3\varphi_3 + 2\cdot 3\cdot 4\varphi_4 c_1 + \cdots. \qquad (2)$$

Berücksichtigt man hierin nun allein die Glieder zweiter Ordnung, setzt also φ_3, φ_4 und alle folgenden Entwicklungskoeffizienten gleich Null, so folgen für die kritischen Werte der Konzentrationen die Ausdrücke

$$c_1 = \frac{\sqrt{\gamma_1}}{\sqrt{\gamma_1} + \sqrt{\gamma_2}}, \quad c_2 = \frac{\sqrt{\gamma_2}}{\sqrt{\gamma_1} + \sqrt{\gamma_2}}.$$

Diese Werte sind demnach unter der gemachten Voraussetzung eindeutig bestimmt.

Existieren also in einem Gemisch bei verschiedenen Temperaturen mehrere Punkte kritischer Löslichkeit, so müssen die bezüglichen Konzentrationen für alle diese Punkte sämtlich die gleichen Werte besitzen, es sei denn, daß die betreffenden Zustandsgebiete durch Phasen molekularer Umsetzungen getrennt sind, da für diesen Fall die Abhängigkeit der Potentialfunktion Φ von den Konzentrationen sich ändert. Nach kritischen Zuständen, für die ein einheitlicher Wert von Φ maßgebend ist, wird man natürlich mit mehr Aussicht auf Erfolg in nahe beieinander liegenden als in weit voneinander entfernten Druck- und Temperaturgebieten zu suchen haben. In der Tat liegen einige solcher Beobachtungsreihen in enger begrenzten Gebieten vor, die gestatten, das obige Ergebnis zu prüfen. Bereits von Rothmund wurde nämlich 1898 die Vermutung ausgesprochen, daß die von ihm gefundenen Sättigungskurven binärer flüssiger Gemische mit einem oberen oder einem unteren kritischen Punkt auf den allgemeineren Fall geschlossener Kurven mit zwei kritischen Punkten zurückzuführen seien. Derartige geschlossene Kurven sind inzwischen in mehreren Systemen festgestellt worden[1]). In zwei Fällen wird nun in der Tat die Forderung der Konstanz der kritischen Konzentrationen erfüllt, nämlich in den Systemen

Nikotin/Wasser (Konzentration in beiden kritischen Punkten nach C. S. Hudson 32,4 bzw. nach D. E. Tsakalotos 34,0),

3-Methyl-Pyridin (β-Picolin)/Wasser (Konzentration in beiden kritischen Punkten nach O. Flaschner 26,4).

Diesen beiden Systemen stehen aber wenigstens fünf Fälle mit verschiedenen Werten der Konzentrationen in beiden kritischen Punkten gegenüber. Will man nun nicht die beiden der Theorie günstigen Fälle durch die ad hoc gemachte Annahme molekularer Konstanz als Normalfälle ansprechen, sondern zunächst auch die übrigen der Theorie sich nicht einfügenden Fälle unseren oben angegebenen Ansätzen unterordnen, so bleibt nichts übrig, als darin wenigstens noch die Reihenglieder dritter Ordnung mit zu berücksichtigen. Dann ergibt die Elimination von T aus den Gleichungen (2) für die kritische Konzentration c_1 eine Gleichung höheren Grades, deren verschiedene Auflösungen den beiden kritischen Punkten zugeordnet werden können. Untersuchungen über den Molekularzustand der Gemische und über weitere Systeme mit geschlossenen Sättigungskurven würden durch Entscheidung dieser Frage zur weiteren Entwicklung der Planckschen Theorie nicht unerheblich beitragen können.

(Eingegangen 3. August 1920.)

1) Vgl. Landolt-Börnstein, Tabellen, 1912, S. 592.

Über eine neue periodische Beziehung zwischen den Atomgewichten der chemischen Elemente. III. Resonanztheorie der chemischen Verbindungen.

Von Karl Fehrle.

Da nach der Voraussetzung[1]) die Impulsmomente der einzelnen Kugelschalen je um das Wirkungsquantum zunehmen, so unterscheiden sich die Impulsmomente der äußersten Kugel je zweier von einem Edelgas gleich weit entfernter Elemente von dem Impulsmomente der äußersten Kugelschale der Molekel des Edelgases um eine konstante Größe, nämlich so viel Wirkungsquanten, als die Ordnungszahl von der des Edelgases entfernt ist. Demnach scheinen sich solche Elemente miteinander zu verbinden, bei denen die Differenzen der Impulsmomente der äußersten Kugelschale gegenüber derjenigen des nächsten Edelgases, oder, wie sich zeigen wird, eines Elementes mit besonders einfachem Schwingungsverhältnis sich ausgleichen. Wenn man die Anzahl der „Atome“ auf jeder einzelnen Kugel, die durch (1) gegeben ist[2]), addiert und die Summe so behandelt, als ob sämtliche

1) Diese Zeitschr. **21**, 163, 1920.
2) Diese Zeitschr. **21**, 163, 1920.

„Atome" auf einer einzigen Kugel rotierten, so ergibt sich der Radius der Molekel zu

$$R_n = \sqrt{\frac{\sum_1^n N_n}{4\pi k}}$$

und die dazu gehörige Winkelgeschwindigkeit zu

$$\Omega_n = \frac{1}{\sqrt{R_n^3}} \sqrt{\frac{e^2 \sum_1^n N_n}{m}}. \qquad (7)$$

Die folgende Tabelle enthält bis auf den Faktor $\frac{10^{-16}}{2{,}9}$ die sich aus (7) ergebenden reziproken Werte der Winkelgeschwindigkeit für die Elemente der O.-Z. 2, 10, 18, 26, 36, 44, 54, 61, 69, 76 und 86.

O.-Z.	Element	$2{,}9 \cdot 10^{16} \cdot \frac{1}{\Omega_n}$	O.-Z.	Element	$2{,}9 \cdot 10^{16} \cdot \frac{1}{\Omega_n}$
2	*He*	2,0	54	*X*	5,9
10	*Ne*	3,3	61		6,2
18	*Ar*	4,0	69	*Tu I*	6,5
26	*Fe*	4,5	76	*Os*	6,7
36	*Kr*	5,1	86	*Em*	7,1
44	*Ru*	5,5			

Daraus geht hervor, daß die Schwingungszahlen der Edelgase unter der gemachten Annahme sich verhalten wie $\frac{1}{2} : \frac{1}{3} : \frac{1}{4} : \frac{1}{5} : \frac{1}{6} : \frac{1}{7}$. Damit erklärt sich die Stellung der Edelgase als die solcher Elemente, deren Schwingungszahlen zueinander schon in so einfachem Verhältnis stehen, daß die Resonanz durch Verbindung mit anderen Elementen nicht verbessert werden könnte. Die Verbindung der übrigen Elemente untereinander muß daher unter dem Gesichtspunkt betrachtet werden, daß das mit einem zweiten sich verbindende Element in bezug auf dieses das Schwingungsverhältnis der den beiden Elementen benachbarten Edelgase gewinnt. Wenn also z. B. *Li* mit *F* sich verbindet, so erreichen dadurch die Komponenten das Schwingungsverhältnis 3 : 2. Wenn ein $m$wertiges Element sich mit m-Atomen eines einwertigen verbindet, so muß die Differenz des Impulsmomentes der äußersten Kugelschale im Vergleich mit der des Edelgases (m-Wirkungsquanten) durch m-Differenzen, gebildet in gleicher Weise für die m-Atome des einwertigen Elementes in bezug auf das zu ihm gehörige Edelgas (m mal jeweils ein Wirkungsquantum) ausgeglichen werden. Der Hauptunterschied dieser Auffassung gegenüber derjenigen Kossels, welcher in Fortsetzung der Theorie Abeggs[1]) den Vorgang der Verbindung mit der Tendenz zweier Atome, durch Abgabe oder Aufnahme von Elektronen Systeme von derselben Gesamtelektronenzahl wie die Edelgase zu bilden, erklärt hat[1]), besteht darin, daß die Ursache nicht im Bau der Atome, sondern im Schwingungsverhältnis gesehen wird.

Da die Elemente der C-Gruppe symmetrisch zu den beiden benachbarten Edelgasen stehen, können sie sowohl mit positiven 4 Wirkungsquanten (Normalvalenz) als auch mit negativen 4 Wirkungsquanten (Kontravalenz) zur Resonanz gelangen. Die Elemente der 5.—7. Gruppe der beiden ersten Horizontalreihen können auf dem nächsten Wege in bezug auf das folgende Edelgas zur Resonanz gelangen (Normalvalenz). Sie könnten aber auch in bezug auf die Schwingungszahl des entfernteren Edelgases zur Resonanz gelangen (Kontravalenz). Für O.-Z. 26 (*Fe*) ergibt sich das Schwingungsverhältnis 9 : 2 (Tabelle). Die Differenz des Impulsmomentes der äußersten Kugelschale des mittleren Elementes der Trias im Vergleich mit dem von *Ar* und *Kr* ist gleich. Ich nehme an, daß in diesem Falle die einzelnen Kugeln, welche die Molekeln bilden, ihre Einstellung teilen, daß der eine Teil (von $1-x$) auf *Ar*, der andere (von $x-n$) auf *Kr* sich einstellt. Der vorherrschende Anteil verschiebt sich von O.-Z. 26 bis 28 immer mehr zugunsten der Schwingungszahl des *Kr*, bis bei O.-Z. 29 (*Cu*) alle einzelnen die Molekel bildenden Kugelschalen auf *Kr* eingestellt sind. Die oben angegebene Zusammensetzung der Eisenmolekel würde das von Hagenbach beobachtete spiegelbildliche Serienspektrum des Eisens erklären.

Die Spannung, welche dadurch entsteht, daß die Schwingungen der „Atome" nicht in Resonanz stehen mit denen der Molekeln, bewirkt eine Zusammenziehung der Molekel, wenn die Spannung durch Vergrößerung der Rotationsgeschwindigkeit der „Atome", und Ausdehnung, wenn sie durch Verlangsamung aufgehoben würde. Die Dichte kann daher als der Ausdruck der Resonanzfähigkeit sowohl in Hinsicht auf die Entfernung als auch im Hinblick auf die Richtung betrachtet werden. Sie nimmt zu, wenn die Resonanz durch Beschleunigung der Rotation, also auf das vorhergehende Edelgas zu, sie nimmt ab, wenn sie durch Verzögerung, also auf das folgende Edelgas zu, verbessert würde.

Die Tabelle, welche für O.-Z. 61 das Schwingungsverhältnis 25 : 4, für *Tu I* das Verhältnis 13 : 2 und für *Os* das Verhältnis 27 : 4 gibt, zeigt, daß es in der letzten Periode einzelne einfache Schwingungsverhältnisse gibt, auf welche sich ihre Elemente einstellen können. Die Ele-

1) Zeitschr. f. anorg. Chem. **39**, 330, 1904.

1) Ann. d. Phys. **49**, 229, 1916.

mente von *Ce* bis Nr. 72 verhalten sich also in bezug auf die Schwingungszahlen von Nr. 61 und von *Tu I*, wie die Elemente von *N* bis *Sc* in bezug auf diejenigen von *Ne* und *Ar*. Dies spiegelt sich auch in der Dichte wieder, soweit sie bekannt ist.

Das periodische System ist daher insofern irreführend, als es das Vorwalten der Achterperioden als Prinzip vortäuscht. Nicht die Einteilung in 8 ist maßgebend, sondern die Möglichkeit, einen Resonanzgenossen zu finden. Auftreten in Nebenvalenz bezeichnet keine neue Art von Valenz, sondern besagt nur, daß innerhalb der Reihe ein einfaches Schwingungsverhältnis vorhanden ist, derart, daß die Impulsmomente der äußersten Kugelschalen der Verbindungsgenossen von denjenigen der zu diesem einfachen Schwingungsverhältnis gehörigen Elemente, die als Resonanzstelle bezeichnet werden mögen, gleich weit entfernt sind. Auftreten in Normalvalenz besagt nur: Das Element erreicht seinen Resonanzgenossen auf die kürzere Weise. Dieser Art von Resonanzfähigkeit entspricht immer die Dichte. Je nach der Art der Resonanz — auf das vorhergehende oder auf das folgende Edelgas zu — erfolgt die Zuteilung der Elemente in die *a*- oder *b*-Gruppe der Vertikalreihen.

Daß das als Resonanzstelle bezeichnete Element selbst wieder eine Valenz besitzt in bezug auf ein noch einfacheres Schwingungsverhältnis, nämlich das des benachbarten Edelgases, steht nicht zu meiner Ansicht über die Nebenvalenz in Widerspruch, denn die Impulsmomente der äußersten Kugelschalen der Molekeln der sich in Nebenvalenz betätigenden Elemente unterscheiden sich zwar von denjenigen der Molekeln der Resonanzstellen um dieselbe Zahl von Wirkungsquanten, nicht aber auch von denjenigen der den Resonanzstellen benachbarten Edelgase.

Das Edelgas mit dem Schwingungsverhältnis 1, das zur Vervollständigung der Tabelle gehört, kann nur das Element Elektron selbst sein, bei dem rotierendes „Atom“ und Atom im Sinne der Chemie zusammenfallen, das keine Spannung besitzt, weil die Schwingungen von „Atom“ und Molekel in Resonanz sind, dem also im buchstäblichen Sinne die O.-Z. o zukommt. Damit erklärt sich die singuläre Stellung des Wasserstoffs. Er kann entweder positiv einwertig in bezug auf die Schwingungszahl des 0ten Elements oder negativ einwertig in bezug auf diejenige des *He* auftreten.

Nach dem Vorstehenden dürfte das, was sich in dem hier gebrauchten dynamischen Modell als Verhältnis der Zahl der Schwingungen der „Atome“ auf den Molekeln zur Grundschwingung darstellt, zugleich auch dasjenige der „Atom“schwingungen zur Schwingung der Molekeln sein. Die Spannung, als Maß der Entfernung des Verhältnisses von der Resonanz, scheint die Ursache der elektromagnetischen Schwingungen zu sein.

Freiburg i/B., Juni 1920.

(Eingegangen 25. Juni 1920.)

Über eine neue periodische Beziehung zwischen den Atomgewichten der chemischen Elemente. IV. Der Zusammenhang zwischen den Resten und der magnetischen Atomsuszeptibilität.

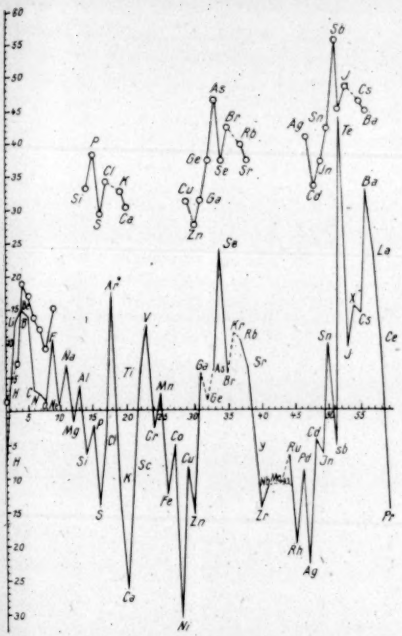
Von Karl Fehrle.

Das periodische Verhalten der diamagnetischen Atomsuszeptibilität wurde von Pascal nachgewiesen[1]). Die von ihm gezeichnete Kurve ist in der folgenden Figur auf der Kurve der Reste aus dem II. Teil meiner Abhandlung[2]) abgetragen. Die Logarithmen der Suszeptibilitäten als Ordinaten. Es ist dies die Ringlinie. Der links stehende Maßstab gilt nur für die Reste. Ein Blick zeigt, daß die Kurven in ihrem Gang zum größten Teil übereinstimmen. Ich verbinde damit folgende Vorstellungen:

Ein positiver Rest bedeutet: Die Zahl der „Atom“durchgänge durch die auf ein „Atom“ entfallende Fläche der Kugel während einer „Atom“schwingung und damit die Masse muß derart gesteigert werden, daß die Zahl *p* darin ganzzahlig enthalten ist[3]). Ein negativer Rest bedeutet: Die Zahl der „Atom“durchgänge ist bis zur Ganzzahligkeit des Verhältnisses vermindert. Andererseits sucht das Magnetfeld die „Atom“bahnen senkrecht zu den Kraftlinien zu stellen und so die Zahl der „Atom“durchgänge in den Durchtrittspunkten der Kraftlinien durch die Molekel zu vermindern. Wo also die Resonanz durch Verminderung der Zahl der „Atom“durchgänge verbessert wird, muß ein paramagnetischer Effekt auftreten, im gegenteiligen Fall ein diamagnetischer.

Soweit also der Diamagnetismus auf die beschriebenen Verhältnisse zurückzuführen ist, muß er sich mit der Größe des positiven Restes ändern. Der Gang der Kurve der Suszeptibilität von *H* bis *F* ist damit ohne weiteres erklärt. Andererseits müssen die paramagnetischen Elemente auf die negativen Perioden der Atom-

1) Compt. rend. **158**, 1895, 1914.
2) Diese Zeitschr. **21**, 383, 1920.
3) Diese Zeitschr. **21**, 165, 1920.



restkurve fallen und dies trifft auch zu. Auch der Gang von *Si* bis *Ca* erklärt sich aus dieser Theorie, insofern als beide Kurven miteinander an- und absteigen. Aber die zugehörigen Reste sind mit Ausnahme von *Ar* negativ. Diese Elemente müßten sich also nach der oben auseinandergesetzten Theorie paramagnetisch verhalten. Dieser Effekt überlagert sich aber nur dem von den im 3. Teil dargelegten Resonanzverhältnissen herrührenden allgemeinen Effekt, so daß die Kurve, bei allmählichem Ansteigen im ganzen, im einzelnen den sägenförmigen Verlauf der Restkurve mitmacht.

Die meisten Fälle, wo Elemente paramagnetisches Verhalten zeigen, sind von solcher Größenordnung, daß sie nur durch die negativen Reste bedingt erscheinen. Sie fallen auch fast ausschließlich mit den Perioden negativer Reste zusammen.

Die Ähnlichkeit der beiden folgenden Erhebungen in beiden Kurven ist außerordentlich auffallend. Dabei fallen aber, *Cu* und *Zn* ausgenommen, alle Suszeptibilitäten mit den Resten des folgenden Elementes zusammen.

Zusammenfassung.

Der Gang der Kurve der diamagnetischen Atomsuszeptibilität ist der Gang der Kurve der Reste zwischen den experimentellen und idealen Atomgewichten. Es wird eine Theorie des diamagnetischen und paramagnetischen Verhaltens der Elemente auf Grund von Resonanzbetrachtungen gegeben.

Freiburg i/B., Juni 1920.

(Eingegangen 25. Juni 1920.)

BESPRECHUNGEN.

M. Schlick, Raum und Zeit in der gegenwärtigen Physik, zur Einführung in das Verständnis der Relativitäts- und Gravitationstheorie. Zweite, stark vermehrte Auflage. 8°. IV u. 86 S. Berlin, Julius Springer. 1919. M. 5.20.

Obgleich die Schrift dem Zweck einer elementaren Einführung dienen will, ist sie wohl in höherem Maße für den Fachmann als für den Laien geeignet. Dem Physiker, der sich über das Grundsätzliche der allgemeinen Relativitätstheorie unterrichten will, bietet die Schrift in anregender Form eine sehr gute Zusammenstellung der wichtigsten Gedanken.

Am klarsten und gründlichsten ist der Gedankengang entwickelt, durch welchen man sozusagen a priori zu dem Relativitätspostulat geführt wird auf Grund der Erwägung, daß bei allen physikalischen Beobachtungen immer nur Koinzidenzen festgestellt werden. Auch die Fragen, welche sich auf die Relativität der Bewegung und auf die Trägheit beziehen, erfahren eine eingehende Behandlung. Nur müßte hier zur vollen Aufklärung des Lesers deutlicher hervorgehoben werden, daß im Sinne der neuen Theorie die Beziehung des Schwerefeldes zu den Gravitationspotentialen so aufzufassen ist, daß das Feld der Potentiale (das „metrische Feld") das eigentlich Reale bildet, während das Gravitationsfeld nur etwas daraus Abgeleitetes ist.

Die spezielle Relativitätstheorie hatte Schlick bei der ersten Auflage als bekannt vorausgesetzt. In der neuen Auflage ist nun ein Kapitel über die spezielle Relativitätstheorie eingefügt. Jedoch ist dieses so kurz gefaßt, daß trotz der Klarheit der darin gegebenen Ausführungen der Zweck der Orientierung hier schwerlich erreicht wird. Die Notwendigkeit der Umstürzung unserer landläufigen Auffassung von Raum und Zeit wird nicht zwingend genug dargetan (z. B. findet die

Widerlegung der Ritzschen Annahme überhaupt keine Erwähnung). Ferner erfährt man nicht genau, was von den gewohnten Vorstellungen noch erhalten bleibt.

Glücklicher als diese erste Einschaltung ist eine fernere Erweiterung, welche in der Einbeziehung der neueren kosmologischen Betrachtungen Einsteins besteht.

Daß von der neuen Weylschen Theorie gar nichts erwähnt wird, braucht man nicht zu beanstanden; wohl aber hätte in der zweiten Auflage die Bemerkung, daß die bisherigen Versuche einer einheitlichen Zusammenfassung von Elektrodynamik und Gravitationstheorie nicht geglückt sind, eine etwas vorsichtigere Wendung erfahren können.

Allgemein macht sich für die populäre Darstellung der Einsteinschen Theorie als wesentliches Hindernis der Umstand geltend, daß das allgemeine Relativitätsprinzip seine eigentliche Bedeutung erst bei der Aufstellung der Feldgleichungen erhält, die Methode aber, wie man die Feldgleichungen gewinnt, in elementarer Form nicht auseinandergesetzt werden kann. Diese Schwierigkeit wird sich wohl kaum ganz beheben lassen. P. Bernays.

C. Dorno, Himmelshelligkeit, Himmelspolarisation und Sonnenintensität in Davos 1911 bis 1918. Veröffentlichungen des Preußischen Meteorologischen Instituts, herausgegeben von G. Hellmann. Nr. 303. Abhandlungen, Band VI. 8°. 290 S. m. 26 Tafeln u. 68 Tabellen. Berlin, Behrend & Co. 1919. M. 54.—

Herr C. Dorno, der schon im Jahre 1911 in der Monographie: Licht und Luft des Hochgebirges (Braunschweig, Vieweg & Sohn), die Ergebnisse von Messungen der Sonnen- und Himmelsstrahlung in Davos niedergelegt hat, die von ihm selbst mittels neuzeitlich eingerichteter Instrumente gesammelt waren, zieht in diesem neuen Werke die Summe seiner fortgesetzten und erweiterten Arbeiten aus den Jahren 1911 bis 1918.

Fernerstehende könnten vielleicht vermuten, daß die Tätigkeit Dornos wesentlich von lokaler Bedeutung wäre und etwa gar den Interessen des weltbekannten Kurortes dienen sollte. Nichts wäre irriger als ein solches Vorurteil. Dorno ist Physiker, und wenn er auch die therapeutischen Wirkungen des Höhenklimas wohl beachtet, so treten doch Erwägungen dieser Art völlig in den Hintergrund gegenüber den großen Fragen der Meteorologie und der meteorologischen Optik, der systematischen Untersuchung des Energiestromes, der uns von der Sonne aus zufließt, und von dessen Größe und etwaiger Schwankung, von dessen Absorption und Umwandlung in der Atmosphäre der Verlauf der meteorologischen und der biologischen Vorgänge auf der Erde abhängt.

Bei Betrachtung des vorliegenden Dornoschen Werkes glaubt man den Tätigkeitsbericht eines wohlausgestatteten staatlichen Observatoriums mit einer Anzahl geschulter Beobachter vor sich zu haben. Es ist erstaunlich, daß ein Privatgelehrter diese Fülle von wertvollen Messungen zusammenbringen — und was das Wesentlichste ist — auch wissenschaftlich verarbeiten konnte.

Es soll hier nur über den kleineren Teil des Werkes berichtet werden, der sich mit der eigentlichen Sonnenstrahlung befaßt (S. 267—290).

Zur Messung der Gesamtintensität der Sonnenstrahlung benutzt Dorno zwei Instrumente. Das eine ist das Ångströmsche Kompensationspyrheliometer. Von zwei gleichartigen geschwärzten Manganinstreifen ist abwechselnd der eine der zu messenden Strahlung ausgesetzt, der andere abgeschirmte wird durch einen Heizstrom auf dieselbe Temperatur mit jenem gebracht. Die Temperaturgleichheit wird mittels eines Thermoelementes festgestellt. Die in dem durchströmten Streifen entwickelte Wärmemenge wird aus dem bekannten Widerstand und der gemessenen Stromstärke bestimmt, sie ist der dem anderen Streifen in gleicher Zeit zugeführten Strahlungswärme gleich. Neben diesem (absoluten) Instrumente bewährte sich sehr gut das bimetallische Aktinometer von W. A. Michelson (mikroskopische Ablesung der Verbiegung eines bimetallischen (Platin-Kupfer) Streifens bei einseitiger Bestrahlung), das durch Vergleichung mit einem absoluten Silverdisk-Pyrheliometer an die Smithsonian-Skala angeschlossen war. Auch das Ångströmsche Kompensationspyrheliometer bedarf noch einer kleinen Korrektion, um mit dem gegenwärtig als das zuverlässigste angesehenen amerikanischen Standardinstrumente, dem Waterflow-Pyrheliometer von Abbot, in Übereinstimmung zu kommen; der Faktor betrug 1,035.

Von den Ergebnissen mögen einige wenige herausgehoben werden. Die Solarkonstante ergibt sich im Mittel zu $1{,}925 \cdot \frac{\text{g Cal.}}{\text{min cm}^2}$, in sehr guter Übereinstimmung mit den amerikanischen Messungen. Der Transmissionskoeffizient der Gesamtstrahlung, aus der Bouguerschen Formel bei verschiedenen Sonnenhöhen berechnet, ist im Mittel 0,842, er nimmt mit wachsendem Wasserdampfgehalte der Luft ab. Die größte Einstrahlung wurde am 5. März 1910 bei 35° Sonnenhöhe mit $1{,}575 \frac{\text{g Cal.}}{\text{min cm}^2}$ beobachtet.

Von besonderem Interesse ist die zeitweise Verminderung der Sonnenstrahlung (um nahe 20 Proz.) nach dem Eintreten einer atmosphärischen Trübung, die auf den Ausbruch des Katmaivulkans auf den Aleuten (am 6—7. Juni 1912) zurückgeführt wird und die sich gleichzeitig in andern Störungen optischer Art (Änderungen der Himmelspolarisation, Ringerscheinungen) äußerte, ähnlich wie seinerzeit die Nachwirkung des Krakatauausbruches.

Neben den absoluten Messungen der Gesamtenergie der Sonnenstrahlung führte Dorno auch Relativmessungen in einzelnen Spektralbereichen mit Hilfe von lichtelektrischen Zellen in Verbindung mit passenden Farbfiltern (Gläsern von Schott und Gen., Jena) aus. So für Grünblau (entsprechend einer mittleren Wellenlänge von 465 $\mu\mu$), für Blau (415 $\mu\mu$), Blauviolett (405—400 $\mu\mu$), Blauultraviolett (379 $\mu\mu$) und Ultraviolett.

Zu den Messungen im sichtbaren Bereiche dienten Zellen mit Kalium-, im Ultraviolett mit Kadmiumbelag. Die Transmissionskoeffizienten in gleicher Reihenfolge sind: (0,826), (0,752), (0,730—0,720), (0,668) und (0,266). Die Durchlässigkeit der Atmosphäre für direkte Sonnenstrahlung nimmt also mit abnehmender Wellenlänge stark ab, zugleich aber erweist sich das vom reinen Himmel zerstreute Licht, wie an anderer Stelle des Werkes mitgeteilt wird, als besonders reich an kurzwelligen Strahlen, so daß die gesamte Ultravioletstrahlung des Himmels die der Sonne selbst bei hohem Sonnenstande übertrifft. Das Maximum der ultravioletten Strahlung tritt für Davos im Dezember, das Minimum im Juni ein.

Die Messungen im Ultraviolett legen die Frage nach der Ursache der wechselnden Ausdehnung des Sonnenspektrums nach der Seite der kurzen Wellen

nahe. Die Endwellenlängen können zwischen 301 $\mu\mu$ (Frühjahr) bis 290 $\mu\mu$ (Herbst) schwanken. Als Ursache dieser Schwankungen hat man wohl den veränderlichen Ozongehalt der Luft angesehen, indem das Ozon besonders die kurzen Wellen absorbiert.

Dornos direkte Messungen des Ozongehalts der Luft mittels der Jodstärkereaktion widersprechen zwar dieser Erklärung nicht, doch verhehlt der Verf. mit Recht nicht sein Mißtrauen gegen diese nicht eindeutige Methode. Er weist auf die Möglichkeit hin, die wechselnde Absorption des Ultraviolett im Jahreslaufe auf periodische Veränderungen in der Durchlässigkeit der höchsten atmosphärischen Schichten zurückzuführen.

Auf Anregung von Prof. Guthnick (Sternwarte Neu-Babelsberg bei Berlin) hat schließlich Dorno mit Hilfe der photoelektrischen Methode nach kurzperiodischen Schwankungen der Lichtemission der Sonne gesucht. Änderungen innerhalb einiger Stunden, die 1 Proz. überstiegen, sind indessen nicht gefunden worden. Auch Guthnick und Prager haben durch Vergleichung des vom Saturn reflektierten Sonnenlichts mit dem Lichte eines unveränderlichen Fixsternes keine Schwankungen dieser Art feststellen können, deren Existenz auf Grund pyrheliometrischer Ergebnisse Abbots möglich schien. H. Geitel.

Wo. Ostwald, Die Welt der vernachlässigten Dimensionen. Eine Einführung in die moderne Kolloidchemie mit besonderer Berücksichtigung ihrer Anwendungen. gr. 8°. XII u. 222 S., mit Abbildungen. 3. Auflage. Dresden, Th. Steinkopff. 1919. Gebunden M. 9.—.

Daß Wo. Ostwalds „Welt der vernachlässigten Dimensionen", deren erste Auflage in dieser Zeitschrift (16, 432, 1915) bereits besprochen wurde, innerhalb von 4 Jahren die dritte Auflage erlebte, spricht nicht nur für die Zunahme des allgemeinen Interesses an kolloidchemischen Fragen, sondern ist ohne Zweifel auch ein Beweis dafür, daß die Einführung inhaltlich und formal Anerkennung gefunden hat. Die neue Auflage weist gegenüber der ersten entsprechend den unterdessen gemachten Fortschritten eine Reihe von Änderungen und Ergänzungen auf. Zu den Namen von Barkla und Laue gesellen sich jetzt die der beiden Braggs und der von P. Debye. Die gerade für die Kolloidchemie so wichtigen Untersuchungen Scherrers lagen wohl bei der Neuherausgabe des Buches noch nicht vor. Den Physiker dürfte besonders auch die experimentelle Untersuchung von F. Ehrenhaft interessieren, wonach die photophoretische Geschwindigkeit gerade bei kolloiden Teilchen mittleren Dispersitätsgrades am größten ist. Von neueren Ergebnissen sind ferner hinzugekommen die interessanten Untersuchungen des Verfassers über die Ursachen des Farbenumschlages von Indikatorfarbstoffen, der bisher konstitutionschemisch, nunmehr von Wo. Ostwald in Analogie zum kolloiden Gold aus der Änderung des Dispersitätsgrades erklärt wird. Bei der Besprechung der Ultrafilter vermißt man einen Hinweis auf die jetzt leicht zugänglichen Membranfilter. R. Wintgen.

Vorlesungsverzeichnis für das Wintersemester 1920/21.

Universität Basel. **Hagenbach**: Experimentalphysik II: Optik, Wärme, Elektrizität; Physikalisches Praktikum (mit Veillon und Zickendraht); Physikalisches Kolloquium; Spektroskopie. — **Bernoulli**: Optische Methoden des Chemikers; Quantentheorie und Elektronentheorie der Materie; Physikalisch-chemische Übungen, für Anfänger; Physikalisch-chemisches Vollpraktikum; Chemisches Praktikum; Chemisches Kolloquium (mit Rupe, Fichter und Ruggli). — **Matthies**: Einführung in die theoretische Physik II: Wärmelehre; Relativitätstheorie II: Gravitationstheorie; Mathematisch-physikalisches Seminar: Problem aus der kinetischen Gas- und Elektronentheorie; Kinetische Gastheorie. — **Veillon**: Elementare Übungen in mathematischer Physik. — **Zickendraht**: Wechselstrom; Praktikum. — **Zehnder**: Geschichte der Physik II; Physikalische Weltanschauungen II: Makrokosmos. —

Universität Berlin. **Rubens**: Experimentalphysik II: Elektrizität und Optik; Kolloquium für Fortgeschrittene; Arbeiten für Geübtere (mit Wehnelt, v. Baeyer und Westphal). — **Planck**: Theorie der Wärme; Mathematisch-physikalische Übungen. — **Wehnelt**: Praktische Übungen für Anfänger II; Elektrizität und Magnetismus; Praktikum für Pharmazeuten; Praktikum zur Erlangung von Handfertigkeit für das physikalische Arbeiten; Mathematische Ergänzungen zum physikalischen Praktikum. — **v. Laue**: Allgemeine Relativitätstheorie und nichteuklidische Geometrie; Proseminar (mit Westphal). — **Hellmann**: Allgemeine Klimatologie; Meteorologisches Kolloquium für Vorgerücktere. — **Liebisch**: Grundzüge der physikalischen Kristallographie; Mineralogisches Praktikum; Anleitung zur Benutzung der mineralogischen Studiensammlung; Anleitung zu Arbeiten. — **Nernst**: Physikalische Chemie Anorganisch-chemisches Praktikum (mit Marckwald); Physikalisch-chemische Übungen; Physikalisch-chemische Arbeiten; Physiko-chemisches Kolloquium; Neuere Atomistik. — **Einstein**: Verschiedenes aus der theoretischen Physik. — **Haber**: Chemische und physikalische Untersuchungen. — **Hergesell**: Höhenwetterdienst im Zusammenhang mit Wetterprognose und Luftfahrt. — **Schweydar**: Schwerkraft und Erdgestalt. — **Warburg**: Wechselströme und elektromagnetische Wellen. — **Blasius**: Praktische Übungen für Anfänger I: Mechanik, Schall, Wärme und Licht (mit Wehnelt). — **Neesen**: Elektrische Schwingungen, drahtlose Telegraphie. — **v. Baeyer**: Experimentalphysik. — **Byk**: Mathematische Behandlung der Naturwissenschaften. — **Fock**: Einleitung in die Physik und Chemie; Physikalische Kristallographie. — **Franck**: Kathodenstrahlen; Anleitung zu wissenschaftlichen Untersuchungen für Fortgeschrittene. — **Gehrcke**: Ausgewählte Kapitel aus der Optik. — **Grüneisen**: Neuere Anschauungen über die Konstitution fester Körper. — **Hahn**: Radioaktivität, mit Experimenten; Anorganisch-radioaktive Arbeiten. — **Henning**: Vektorrechnung und ihre Anwendung in der theoretischen Physik. — **Hertz**: Mathematische Ergänzungen zur Experimentalphysik. — **Kiebitz**: Elektrische Schwingungen und ihre Anwendungen. — **Krigar-Menzel**: Theorie der elektrischen und magnetischen Erscheinungen. —

Universität Bern. **Forster**: Experimentalphysik II: Magnetismus, Elektrizität, Wärme; Theoretische Optik, Repetitorium der Physik; Physikalisches Praktikum; Physikalische Arbeiten für Vorgerückte. — **Gruner**: Einführung in die theoretische Physik; Elektromagnetische Lichttheorie; Molekulare Wärmetheorie; Kinetische Gastheorie; Seminar. — **Luterbacher**: Mechanik. — **Blattner**: Elektrische Gleichstrom- und Wechselstromanlagen; Elektrische Bahnen. — **Koestler**: Elektromagnetische Schwingungen; Einfach statisch unbestimmte Systeme; Anwendung der höheren Mathematik auf die Naturwissenschaften I. —

Universität Bonn. **Konen**: Experimentalphysik I; Laboratorium für Anfänger; Praktikum für Fortgeschrittene; Physikalisches Kolloquium (mit Pflüger, Eversheim und Grebe). — **Grebe**: Ausgewählte Kapitel aus der experimentellen Optik; Repetitorium der Physik (mit Eversheim); Radioaktivität. — **Pflüger**: Theorie der Elektrizität. — **Bucherer**: Neuere Elektrizitätstheorie. — **Eversheim**: Angewandte Elektrizitätslehre; Grundzüge der Elektrotechnik. —

Technische Hochschule Danzig. **Krüger**: Experimentalphysik I; Physikalisches Praktikum; Radioaktivität. — **Kalähne**: Einführung in das physikalische Praktikum; Elektrodynamik; Elektrische Schwingungen; Photographie und photographische Reproduktionsverfahren; Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten. — **Försterling**: Kinetische Theorie der Materie. — **Reinkober**: Die Gesetze der Wärmestrahlung und ihre Anwendung auf die Beleuchtungstechnik; Physikalische Meßtechnik und Meßmethoden; Handfertigkeitspraktikum. —

Technische Hochschule Darmstadt. **Schering**: Allgemeine Physik; Physikalische Übungen (mit Zeißig); Selbständige Arbeiten aus dem Gebiete der Physik (mit Zeißig); Mechanische Wärmetheorie; Besprechung neuerer physikalischer Arbeiten (mit Zeißig). — **Zeißig**: Allgemeine Physik; Physikalische Meß- und Instrumentenkunde; Seismometrie und Anwendungen; Ausgewählte Kapitel aus der allgemeinen Physik. — **Baerwald**: Allgemeine Elektronik II: Der Aufbau des Atoms und der Materie. — **Limmer**: Photographische Übungen A für Anfänger und Fortgeschrittene; Photographisches Kolloquium; Grundlagen der Photographie. —

Technische Hochschule Dresden. **Hallwachs**: Experimentalphysik I; Physikalisches Praktikum I, II; Praktikum für größere physikalische Arbeiten; Physikalisches Kolloquium (mit Toepler). — **Toepler**: Theoretische Physik IV: Optik: Dioptrik. — **Dember**: Physikalische Grundlagen der Relativitätstheorie. — **Föppl**: Hydro- und Aerodynamik mit Anwendungen auf die Flugtechnik; Seminar. Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten. — **Hugershoff**: Photogrammetrie. — **Luther**: Photographie; Praktikum; Selbständige Arbeiten; Physikalisch-chemisches und anorganisch-chemisches Kolloquium (mit Förster, Müller und Lottermoser). — **Erich Müller**: Elektrochemie; Physikalische Chemie; Praktikum für Elektrochemie. —

Universität Erlangen. **Wiedemann**: Experimentalphysik; Physikalisches Praktikum. — **Reiger**: Ausgewählte Kapitel aus der theoretischen Physik; Physikalisches Kolloquium (mit Würschmidt, Hauser und Frank). — **Würschmidt**: Geschichte der Mathematik und Physik; Die physikalischen Eigenschaften der Legierungen. — **Hauser**: Physikalische und medizinische Einführung in die Röntgentherapie (mit Wintz). — **Frank**: Thermodynamik; Physikalisches Seminar. —

Universität Frankfurt a. M. **Wachsmuth**: Experimentalphysik II: Elektrizität und Optik; Elektronik und Radioaktivität; Physikalisches Kolloquium (mit Born), Physikalisches Praktikum; Wissenschaftliche Arbeiten. — **Born**: Theorie der Elektrizität und des Magnetismus; Atomistik; Seminar über Probleme der modernen Physik (mit Stern und Landé). — **Landé**: Einführung in die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften. — **Stern**: Mechanik der Kontinua; Elastizitätstheorie und Hydrodynamik. — **Seddig**: Photographisches Praktikum; Leitung selbständiger Arbeiten. — **Déguisne**: Der elektrische Gleichstrom; Gleichstrom-Messungen; Grundlagen der Röntgentechnik; Die elektrische Beleuchtung; Kolloquium über die neuere Literatur der angewandten Physik (mit Dessauer); Elektrotechnisches Praktikum; Wissenschaftliche Arbeiten. — **Gramberg**: Maschinenkunde. — **Dessauer**: Einführung in die physikalischen Grundlagen der Medizin; Seminar für medizinische Physik, Lektüre und Besprechung neuerer Arbeiten. — **Linke**: Theoretische Meteorologie, Erdbebenkunde; Meteorologisch-geophysikalisches Kolloquium. — **Georgii**: Wetterkunde. —

Bergakademie Freiberg. **Brion**: Elektrotechnik; Elektrotechnisches Praktikum; Experimentalphysik; Physikalisches Praktikum. — **Ludewig**: Radiumkunde; Radioaktives Praktikum; Einführung in das physikalische Praktikum. —

Universität Freiburg i. Br. **Himstedt**: Experimentalphysik; Mechanik, Akustik, Wärme; Physikalisches Praktikum; Physikalisches Kolloquium; Anleitung zu selbständigen Arbeiten. — **Cohn**: Theorie des Lichts; Einführung in die Vektorrechnung; Übungen aus der theoretischen Physik: Mechanik und Akustik. — **Königsberger**: Mathematische Physik; Elektrizität und Magnetismus; Astronomie der Atome; Anleitung zu selbständigen Arbeiten; Mathematisch-physikalisches Kolloquium. — **Friedrich**: Elektrizitätsleitung in Gasen; Kathodenstrahlen, Kanalstrahlen, Röntgenstrahlen mit Demonstrationen; Physik der Elektro- und Strahlen-Therapie; Anleitung zu selbständigen Arbeiten. — **Meyer**: Elektrochemie; Physikalische Chemie für Mediziner; Photographie; Mechanische Wärmetheorie; Physikalisch-chemisches Übungspraktikum; Selbständige physikalisch-chemische Arbeiten. —

Universität Freiburg (Schweiz). **Gockel**: Experimentalphysik I; Physik der Atmosphäre; Physik der Gestirne und kosmogonische Theorien; Physikalisches Praktikum (mit v. Hauer); Übungen in Radioaktivität und Elektronik; Anleitung zu selbständigen Arbeiten. — **Joye**: Allgemeine Physik I: Eigenschaften der festen, flüssigen und gasförmigen Körper; Mathematische Physik I: Elastizität, Hydrodynamik; Physikalisches Seminar; Praktische physikalische Übungen: Physikalisches Laboratorium; Untersuchungsarbeiten im Laboratorium. — **v. Hauer**: Ergänzungen und Erläuterungen zum physikalischen Praktikum; Photochemie. —

Universität Gießen. **König**: Experimentalphysik II: Elektrizität und Optik; Physikalisches Praktikum (mit Uller und Cermak); Leitung selbständiger physikalischer Arbeiten; Übungen in Demonstrationsversuchen und Behandlung einfacher theoretischer Hausaufgaben (mit Cermak); Physikalisches Kolloquium (mit Fromme). — **Cermak**: Handfertigkeitspraktikum; Elektrische Schwingungen. — **Uller**: Elementare technische Mechanik I. — **Jentzsch**: Fehlertheorie der optischen Instrumente auf Grund des Eikonalbegriffs; Wissenschaftliche Mikroskopie (mit Harrassowitz, Henneberg und Huntemüller). — **Fromme**: Theoretische Optik; Theoretisch-physikalische Übungen. — **Schlesinger**: Über Relativitätstheorie (gemeinverständlich). — **Peppler**: Grundlagen der Witterungskunde und Wettervorhersage. —

Universität Göttingen. **Pohl**: Experimentalphysik II.: Elektrizität und Optik; Interferenz und Beugung des Lichtes, insbesondere mit Rücksicht auf die Leistungsfähigkeit optischer Instrumente; Physikalisches Praktikum; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten. — **Wiechert**: Vermessungswesen: Höhere und niedere Geodäsie, Markscheidekunst, Nautik, Aeronautik; Physik des Erdkörpers: Erdbeben, Ebbe und Flut, Polschwankungen; Luftelektrizität; Polarlicht; Seminar: Geonomische Fragen; Geophysikalisches Praktikum. — **Reich**: Elektrotechnik; Fortschritte der Fernmeldetechnik im Kriege; Elektrotechnisches Praktikum; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten; Seminar über Elektrotechnik. — **Prandtl**: Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten. — **Hertz**: Grundbegriffe der theoretischen Physik; Relativitätstheorie. — **N. N.**: Mechanik. Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten. — **Rausch von Traubenberg**: Kinetische Gastheorie. — **Hoppe**: Geschichte der Mechanik bis Helmholtz. — **Tammann**: Physikalische Chemie; Über Einstoffsysteme; Kolloquium (mit Coehn); Physikalisch-chemisches Praktikum für Anfänger; Physikalisch-chemische Arbeiten. — **Coehn**: Moderne Theorien der Chemie; Neuere Atomistik, Radioaktivität, Elektronentheorie,

Nernstsches Wärmetheorem; Photographisches Praktikum; Photochemische Arbeiten. — **Vogel:** Thermische Analyse; Metallographisches Praktikum. —

Technische Hochschule Graz. **N. N.:** Physik; Elektrotechnik; Elektrotechnische Übungen; Enzyklopädie der Elektrotechnik. — **Streintz:** Physik. — **Geitler:** Schwachstrom-(Fernmelde-)Technik I: Telegraphie. —

Universität Graz. **Benndorf:** Experimentalphysik III: Elektrizität und Magnetismus; Physikalische Übungen I, II; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten; Besprechung physikalischer Fragen (mit Radakovic). — **N. N.:** Experimentalphysik I. — **Streintz:** Elektrisches Leitvermögen metallischer Leiter. — **Rosenberg:** Übungen in der Anstellung physikalischer Schulversuche. — **Radakovic:** Wärmelehre; Seminar für theoretische Physik. — **Wassmuth:** Ausgewählte Partien der statistischen Mechanik. — **Brell:** Vektorenrechnung mit Übungen; Elektrodynamik bewegter Systeme. — **Hillebrand:** Theoretische Astronomie; Sphärische Astronomie. — **Ficker:** Allgemeine Klimatologie; Luftelektrizität; Wettervorhersage; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten. — **Weitzenböck:** Mathematische Grundlagen der Relativitätstheorie. — **Kremann:** Physikalische Chemie III; Die physikalisch-chemische Methodik bei wissenschaftlicher Behandlung chemischer Probleme; Physikalisch-chemisches Praktikum für Vorgeschrittene. —

Universität Greifswald. **N. N.:** Experimentalphysik II: Elektrizität, Optik, Thermodynamik; Anleitung zu selbständigen physikalischen Untersuchungen; Besprechung neuer physikalischer Arbeiten (mit Bestelmeyer und Seeliger). — **Bestelmeyer:** Einführung in die angewandte Physik II: Elektrizität; Physikalisches Praktikum; Theoretisch-praktische Übungen in Konstruktion und Handhabung physikalischer Apparate; Anleitung zu selbständigen Untersuchungen. — **Seeliger:** Theorie der Elektrizität; Differentialgleichungen der Physik; Physikalisches Praktikum; Anleitung zu selbständigen Übungen. —

Universität Halle. **Mie:** Grundlinien der Physik; Experimentalphysik II: Elektrizität und Optik, Mathematische Ergänzungen; Physikalische Übungen; Kleines physikalisches Praktikum; Besprechungen neuerer physikalischer Arbeiten; Anleitung zu selbständigen physikalischen Untersuchungen. — **Schmidt:** Theorie des Magnetismus und der Elektrizität; Elektrische Wechselströme und Schwingungen; Übungen für angewandte Physik; Physikalisches Kolloquium; Anleitung zu selbständigen Arbeiten. — **Herweg:** Ausgewählte neuere Kapitel aus der Elektrizitäts- und Wärmelehre. — **Wigand:** Elektronen und Ionen; Aerophysikalisches Praktikum; Meteorologie, Aerologie, atmosphärische Elektrizität und Strahlung. — **Martiny:** Technik in der Gegenwart. —

Universität Hamburg. **Koch:** Experimentalphysik II; Physikalisches Praktikum (mit Goos und Müller); Anleitung zu wissenschaftlichen Untersuchungen (mit Classen). — **Hecke:** Funktionentheorie; Allgemeine Relativitätstheorie. — **Groß:** Kristallographie und Mineralogie; Kristallphysik; Petrographisches Praktikum für Fortgeschrittene; Anleitung zu selbständigen Arbeiten; Besprechung neuerer Arbeiten. — **Wegener:** Wetter und Wetterdienst. — **Möller:** Physik des Elektrons. — **Tams:** Erdmagnetismus. — **Jensen:** Probleme der Luftelektrizität. — **Classen:** Thermodynamik; Praktische Übungen für Fortgeschrittene. — **Voege:** Praktische Übungen auf dem Gebiete der angewandten Physik. —

Technische Hochschule Hannover. **Precht:** Experimentalphysik; Mechanik, Wärme, Schall, Strahlung (mit Quick); Physikalisches Laboratorium (mit Frau van Lindelt und Eckenberg). — **N. N.:** Grundzüge der Physik; Praktische Physik; Photographie. — **Bodenstein:** Physikalische Chemie; Elektrochemische Übungen (mit Braune, Grote und Kangro); Arbeiten im elektrochemischen Institut (mit Braune, Grote und Kangro); Übungen in der Elektroanalyse (mit Braune). —

Universität Heidelberg. **Lenard:** Experimentalphysik; Mechanik, Akustik, Wärmelehre; Physikalisches Praktikum (mit Becker und Ramsauer); Physikalisches Seminar; Wissenschaftliche Arbeiten Fortgeschrittener (mit Becker und Ramsauer). — **Becker:** Theoretische Mechanik; Elektrizitätsleitung in Gasen; Besprechung theoretisch-physikalischer Fragen. — **Ramsauer:** Radiologie mit Demonstrationen; Der Aufbau der Materie; Die Grundlagen der Relativitätstheorie. — **Schmidt:** Photographische Kurse. —

Universität Jena. **Wien:** Experimentalphysik II: Elektrizität, Magnetismus, Optik; Physikalisches Praktikum (mit Pauli und Schrödinger); Leitung physikalischer Spezialaufgaben (mit Auerbach, Straubel, Pauli und Schrödinger); Physikalisches Kolloquium. — **Pauli:** Experimentalphysik IV: Elektrizität, Magnetismus, Optik. — **Auerbach:** Theorie des Lichtes; Mechanik der festen, flüssigen und gasförmigen Körper; Kinetische Theorie der Gase. — **Schrödinger:** Elektronentheorie; Konstitution der Materie. —

Universität Kiel. **Dieterici:** Experimentalphysik I; Mechanik, Akustik, Wärme; Physikalisches Praktikum (mit Madelung); Physikalisches Kolloquium (mit Madelung, Zahn, Martienssen und Schmidt). — **Madelung:** Theoretische Optik; Höhere Vektoranalysis und Einführung in die Relativitätstheorie; Einführung in die Quantentheorie; Übungen in der Anwendung der theoretischen Physik, Kolloquium. — **Zahn:** Theorie der Wechselströme. — **Martienssen:** Einführung in die Elektrotechnik. — **Schmidt:** Ausgewählte Kapitel aus der Optik des gesamten Spektrums. —

Universität Köln. **Rinkel:** Experimentalphysik; Akustik, Elektrizität, Optik; Eisenindustrie; Kleines physikalisches Praktikum; Großes physikalisches Praktikum. —

Universität Königsberg **Kaufmann:** Experimentalphysik II: Elektrizität, Licht; Praktisch-physikalische Übungen. — **Volkmann:** Ausgewählte Kapitel der theoretischen und praktischen Physik. — **Hoffmann:** Physik für Landwirte. — **Kretschmann:** Einführung in die Quantenlehre. —

Universität Marburg. **N. N.:** Experimentalphysik: Wärme, Magnetismus und Elektrizität, Elementarmathematische Ergänzungen; Physikalisches Kolloquium; Physikalisches Praktikum (mit Schulze und Take). — **Schulze:** Theorie der Elektrizität und des Magnetismus; Mechanik deformierbarer Körper; Elastizität und Hydrodynamik; Theoretisch-physikalisches Seminar. — **Feußner:** Geschichte der Physik; Dioptrik, besonders Auge und optische Instrumente. — **Take:** Physikalische Technologie I: Wärme- und Wasserkraftmaschinen; Repetitorium der Physik. — **Stuchtey:** Über Radioaktivität; Übungen in Handfertigkeit, im Experimentieren und im Experimentalvortrag. — **Thiel:** Physikalische Chemie II: Thermochemie und Elektrochemie; Einführung in die physikalische Chemie; Theorie der Lösungen; Physikochemisches Praktikum; Anleitung zu selbständigen Untersuchungen. —

Universität München. **Wien:** Experimentalphysik II: Mechanik und Optik; Anleitung zu selbständigen Arbeiten. — **Sommerfeld:** Mechanik; Theorie der Röntgenstrahlen; Seminar (mit Lenz, Ewald und Herzfeld); Theorie der Spektrallinien auf Grund des Bohrschen Atommodells; Selbständige Arbeiten. — **Gradtz:** Experimentalphysik I: Wärme, Elektrizität; Physikalisches Praktikum: a) Übungen in physikalischen Messungen, b) Übungen in physikalischen Demonstrationen; Einleitung in die theoretische Physik I; Anleitung zu selbständigen Arbeiten aus der Physik. — **v. Groth:** Physikalische und chemische Kristallographie; Kristallographisches Prak-

tikum; Anleitung zu selbständigen Arbeiten. — **Schmauß**: Allgemeine Meteorologie und Klimatologie; Wetter und Klima in ihrer Wirkung auf den Menschen. — **Wagner**: Spektralanalyse der Optik und Röntgenstrahlung; — **Fajans**: Physikalische Chemie II: Thermodynamik, homogene Gleichgewichte, Elektrochemie; Elementare Einführung in die physikalische Chemie und deren Anwendungen; Kolloquium für physikalische und anorganische Chemie (mit Hönigschmid und Prandtl). — **Donle**: Einführung in die elektromagnetische Theorie des Lichtes. — **Gossner**: Wirtschaftlich wichtigere Mineralien, nach Vorkommen und Entstehung; Erforschung der Kristallstruktur, ihre Grundlage und Aufbau einzelner Stoffe im Kristallzustand; Kristallographisches Praktikum. — **Lenz**: Theorie der Wärmestrahlen. — **Ewald**: Thermodynamische Potentiale und ihre Anwendungen. — **Herzfeld**: Elektronentheorie der Metalle; Einführung in die statistische Mechanik II; Chemische Anwendungen der kinetischen Theorie und Quantentheorie. —

Technische Hochschule München. **Zenneck**: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, Optik; Physikalisches Praktikum; Wissenschaftliche physikalische Arbeiten. — **Fischer**: Grundzüge der Physik I: Mechanik, Akustik, Wärmelehre; Elemente der theoretischen Physik II: Optik, Elektrizität und Magnetismus, Elektronik; Elektrizität und Magnetismus in mathematischer Behandlung; Praktisch-physikalische Übungen; Einführung in die wissenschaftlichen Methoden der Physik. — **Kossel**: Materie und Strahlung; Physikalische Grundlagen der Leuchttechnik; Periodisches System und Atommodelle. — **v. Angerer**: Spektralanalyse. — **Knoblauch**: Anwendungen der Thermodynamik auf physikalisch-chemische Erscheinungen; Technisch-physikalisches Praktikum; Anleitung zur Ausführung wissenschaftlicher Arbeiten. — **Hencky**: Die Gesetze der Wärmeübertragung und ihre Anwendung in der Technik. — **Emden**: Meteorologie und Klimatologie; Fouriersche Reihen, Kugel- und Zylinderfunktionen in ihrer Anwendung auf physikalische Probleme. — **Dieckmann**: Drahtlose Telegraphie und Telephonie; Hochfrequenzmeßtechnik I; Praktikum zur Hochfrequenzmeßtechnik I; Anleitung zu wissenschaftlichen Untersuchungen aus dem Gebiete der angewandten Physik. — **Schröter**: Mechanische Wärmetheorie. —.

Universität Münster. **Schmidt**: Experimentalphysik II: Elektrizität, Optik; Physikalisches Praktikum (mit Szivessy); Physikalisches Seminar. — **N. N.**: Einführung in die theoretische Physik; Mathematisch-physikalisches Seminar. — **Szivessy**: Die Relativitätstheorie von Einstein; Prinzipien der Mechanik und die Mechanik raumerfüllender Massen. —

Universität Prag. **N. N.**: Experimentalphysik I; Physikalisches Praktikum; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten. — **Frank**: Theorie der Elastizität fester Körper; Theorie des Kreisels; Besprechung der neueren Literatur. — **Fürth**: Elektronentheorie; Einführung in die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften. — **Rothmund**: Physikalische Chemie I; Radioaktivität; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten. — **Spitaler**: Allgemeine Meteorologie. —

Technische Hochschule Stuttgart. **Regener**: Experimentalmechanik einschließlich Akustik; Physikalische Messungen; Physik; Physikalisches Praktikum für Anfänger; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten; Physikalisches Kolloquium. — **N. N.**: Theoretische Physik. — **Glocker**: Ausgewählte Kapitel aus der neueren Physik; Röntgentechnik. — **N. N.**: Relativitätstheorie. —

Universität Würzburg. **Stark**: Experimentalphysik; Physikalische Übungen; Anleitung zu selbständigen Arbeiten. — **Harms**: Theoretische Physik: Elektrizitätslehre außer Elektrostatik, Grundzüge der elektromagnetischen Lichttheorie. — **Rau**: Neuere Forschungen über den Bau der Materie. — **Schottky**: Thermodynamik. —

Universität Zürich. **Meyer**: Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Wärme; Ausgewählte Kapitel der Physik; Repetitorium der Physik; Physikalisches Praktikum; Ausführung selbständiger wissenschaftlicher Arbeiten; Physikalisches Kolloquium. — **Greinacher**: Kathoden-, Kanal-, Anoden- und Röntgenstrahlen; Radiologisches Praktikum. — **Ratnowsky**: Theoretische Physik I: Mechanik II: Mechanik deformierbarer Körper. — **Tank**: Drahtlose Telegraphie. — **Meißner**: Übungen im Demonstrieren von Schulexperimenten. — **Epstein**: Mechanik I; Mechanik diskreter Massenpunkte und starrer Körper; Ausgewählte Kapitel der höheren Dynamik. —

Technische Hochschule Zürich. **Debye**: Physik: Mechanik, Akustik, Elektrizität; Molekülbau; Physikalisches Praktikum für Anfänger (mit Piccard und Scherrer); Wissenschaftliche Arbeiten in Physik. — **Baur**: Physikalische Chemie II; Allgemeine Elektrochemie; Physikalisch-chemisches Praktikum; Elektrochemisches Praktikum; Physikalisch-chemisches und elektrochemisches Laboratorium. — **Brentano**: Elektrizitätsdurchgang in Gasen und verwandte Erscheinungen; Meßkunde, insbesondere elektrische Messungen. — **Dällenbach**: Zur Theorie der Ankerwicklungen; Elektrodynamik bewegter Körper. — **Piccard**: Experimentalphysik; Physikalische Präzisionsmessungen; Wissenschaftliche Arbeiten. — **de Quervain**: Ausgewählte Kapitel der Geophysik. — **Scherrer**: Physik I; Kinetische Theorie der Materie; Wissenschaftliche Arbeiten. — **Weyl**: Funktionentheorie; Riemannsche Geometrie; Besprechung von Riemanns Habilitationsvortrag und der anschließenden Literatur; Relativitätstheorie; Mathematisches Seminar (mit Pólya). —

Personalien.

(Der Herausgeber bittet die Herren Fachgenossen, der Schriftleitung von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)

Habilitiert: An der Universität Wien Dr. Adolf Smekal für Physik.

Ernannt: Der ord. Professor der Mathematik an der Universität Erlangen Dr. Ernst Fischer in gleicher Eigenschaft an der Universität Köln, der ord. Professor der theoretischen Physik an der Universität Breslau Dr. Clemens Schaefer zum ord. Professor der Experimentalphysik an der Universität Marburg, der Privatdozent Dr. G. A. Brender a Brendis zum a.o. Professor für chemische Technologie an der Technischen Hochschule Delft, der frühere ord. Professor an der Universität Moskau Dr. J. Plotnikow zum ord. Professor für physiologische Chemie und Physik an der Technischen Hochschule Agram, der a.o. Professor an der Universität Ohio Dr. J. E. Day zum a.o. Professor der Chemie an der Universität in Wisconsin.

Berufen: Der Privatdozent an der Technischen Hochschule Stuttgart Dr. W. Schumann zum a.o. Professor für technische Physik an der Universität Jena.

Gestorben: Der frühere Professor für angewandte Chemie an der Universität Toronto Dr. William Hodgson Ellis.

Für die Schriftleitung verantwortlich Dr. Georg Hirzel in Leipzig. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.

Max Kohl A.G. Chemnitz

Volleingezahltes Kapital Mk. 1600000.

50471. Experimentier-Schalttafel Type A_1, 110 Volt, 30 Amp.

Physikalische Apparate

Funken-Induktoren
Ölluftpumpen
Experimentier-Schalttafeln
Projektions-Apparate
Laboratorienmöbel

in gediegener Ausführung.

Weltausstellung Brüssel 1910: 4 Grosse Preise; Turin 1911: 2 Grosse Preise; Dresden 1911: Grosser Preis.

Richard Müller-Uri, Braunschweig

Schleinitzstr. 19

Physikalische, chemische und meteorologische Unterrichts-Apparate und -Utensilien. — Glastechnische Präzisionsarbeiten.

Neuheiten: **Coulombmeter** nach Stephan D.R.G.M. — Righis **Röhren für magnetische Strahlen** mit Vakuum-Regulierung D.R.G.M. — **Quecksilber-Schnellpumpe.** — **Präzisions-Vakuometer** D.R.G.M. — **Pizzarello-Apparat.** — **Apparate für flüssige Luft.** — **Verflüssigte Gase in Röhren.** — **Projektions- und Extrem-Thermometer.** — **Elektroskope** und **Trockensäulen.** — **Vakuumröhren** nach Braun, Crookes Geißler, Puluj, Lecher, Röntgen, Wehnelt. — **Leuchtschirme.** — **Normal-Geißlerröhren-Serie** „Kompendium". — **Original-Vakuumskalen** nach Croß.

Verlag von S. HIRZEL in LEIPZIG.

Das elektromagnetische Feld

Vorlesungen über die Maxwellsche Theorie

von

Emil Cohn

Professor der Physik an der Universität Straßburg.

Mit 54 Abbildungen.

Preis geheftet M. 22.40.

Direktor gesucht für Fabrik elektromedizinischer und Röntgen-Apparate

Große Berliner Fabrik für elektromedizinische Spezial- und Röntgen-Apparate sucht einen **technischen Direktor.** Bedingung: Gute technische und physikalische Kenntnisse, organisatorische Fähigkeiten und repräsentatives Auftreten. Eintritt baldigst; strengste Diskretion zugesichert. Freundliche Angebote erbeten unter J. M. 15618 an Rudolf Mosse, Berlin S.W. 19.

Inhaltsverzeichnis:

(B. = Besprechungen.)

Seite

Absorptionslinien: Über — am Röntgenspektrum, v. G. Hertz . . . 630
Affinität: Kristallwachstum und chemische Affinität, v. J. J. P. Valeton . . . 606
Atome: Eine direkte Messung der freien Weglänge neutraler —, v. M. Born . . . 578
— Über den Bau der — und Moleküle. Ältere und neuere Theorien, v. I. Traube . . . 592
Atomphysik: Schwebende Fragen der —, v. A. Sommerfeld . . . 619
Balmerserie: Über die Struktur der —, v. E. Gehrcke u. E. Lau . . . 634
Born, M., Eine direkte Messung der freien Weglänge neutraler Atome . . . 578
Braggsches Reflexionsgesetz: Abweichungen vom — der Röntgenstrahlen, v. P. P. Ewald . . . 617
Busch, H., Widerstände mit rückfallender Charakteristik . . . 632
Cohnstaedt-Stiftung, (T.) . . . 655
Dember, H., Über die Beeinflussung der Lichtelektrizität durch ein Magnetfeld . . . 568
Dessauer, F., Versuche über Zerstreuung von Röntgenstrahlen . . . 571
Dielektrizis: Die elektrischen Dipole in flüssigen —, v. J. Herweg . . . 572
Diels, H., Antike Technik. (B.) . . . 645
Dipole: Die elektrischen — in flüssigen Dielektrizis, v. J. Herweg . . . 572
Einstrahlung (Fluoreszenz): Über eine neue Art der Erzeugung von Spektrallinien durch —, v. Chr. Füchtbauer . . . 635
Elektronen: Über den Wirkungsquerschnitt der Gasmoleküle gegenüber langsamen —, v. C. Ramsauer 571
Emissions-Bandenspektren: Über eine Methode zur Identifizierung der Träger von —, v. A. Reis . . . 601
Energie: Die Materialisierung der —, v. L. Rougier. (B.) 643
Ewald, P. P., Abweichungen vom Braggschen Reflexionsgesetz der Röntgenstrahlen . . . 617
Farben: Die Harmonie der —, v. W. Ostwald. (B.) 644
Farbenlehre: Die —, v. W. Ostwald. (B.) . . . 643
Farbkörper: Der — und seine Anwendung zur Herstellung farbiger Harmonien, v. W. Ostwald (B.) 644
Farbschule: Die —, v. W. Ostwald. (B.) . . . 644
Füchtbauer, Chr., Über eine neue Art der Erzeugung von Spektrallinien durch Einstrahlung (Fluoreszenz) 635
Fürth, R., Die statistischen Methoden der Physik und der Begriff der Wahrscheinlichkeitsnachwirkung . . 582
Gasgehalt: Lichtelektrizität als Funktion des —, v. W. Hallwachs . . . 561
Gasmoleküle: Über den Wirkungsquerschnitt der — gegenüber langsamen Elektronen, v. C. Ramsauer 571
Gehrcke, E. u. E. Lau, Über die Struktur der Balmerserie . . . 634
Grotrian, W., Gesetzmäßigkeiten im Spektrum des Neons 638
Hahn, O., Protactinium, seine Lebensdauer und sein Gehalt in Uranmineralien . . . 591
Hallwachs, W., Lichtelektrizität als Funktion des Gasgehalts . . . 561
Hertz, G., Über Absorptionslinien am Röntgenspektrum 630
Herweg, J., Die elektrischen Dipole in flüssigen Dielektrizis . . . 572

Ein Mathematiker oder mathematischer Physiker

für Behandlung mathematischer Probleme der Elektrotechnik zum sofortigen Eintritt gesucht. Stellungsgesuche mit Lebenslauf, Gehaltsforderungen und frühesten Eintrittstermin erbeten an

Siemens-Schuckertwerke G. m. b. H.
Zentralwerksverwaltung
Siemensstadt bei Berlin.

Kugelokular. D.R.P. 250814.

Franz Schmidt & Haensch

Berlin S. 42, Prinzessinnenstraße 16

Werkstätten für Präzisions-Mechanik und Optik.

Neue optische Spezialinstrumente eigener Konstruktion, Polarisations-, Spektral-, Projektionsapparate, Episkope u. a.

Preislisten kostenlos.